



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

**MANUAL TÉCNICO DE OPERACIÓN Y CONTROL DE UNA MÁQUINA DE INYECCIÓN CON
SOPLADO DE ORIENTACIÓN BI AXIAL DE PREFORMAS DE P.E.T. NISSEI ASB V2**

Estefan Enrique Castro Ramos

Asesorado por el Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

Guatemala, enero de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MANUAL TÉCNICO DE OPERACIÓN Y CONTROL DE UNA MÁQUINA DE INYECCIÓN CON
SOPLADO DE ORIENTACIÓN BI AXIAL DE PREFORMAS DE P.E.T. NISSEO ASB V2**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ESTEFAN ENRIQUE CASTRO RAMOS

ASESORADO POR EL ING. CARLOS HUMBERTO PÉREZ RODRÍGUEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, ENERO DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco
EXAMINADOR	Ing. Herbert Samuel Figueroa Avendaño
EXAMINADOR	Ing. Carlos Snell Chicol Morales
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**MANUAL TÉCNICO DE OPERACIÓN Y CONTROL DE UNA MÁQUINA DE INYECCIÓN CON
SOPLADO DE ORIENTACIÓN BI AXIAL DE PREFORMAS DE P.E.T. NISSEO ASB V2**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial con fecha 8 de julio de 2021.



Estefan Enrique Castro Ramos

Guatemala, 4 de octubre de 2021

Ingeniero
Gilberto Enrique Morales Baiza
Director de Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Morales:

Por este medio hago constar que he revisado y aprobado el trabajo de graduación: **MANUAL TÉCNICO DE OPERACIÓN Y CONTROL DE UNA MÁQUINA DE INYECCIÓN CON SOPLADO DE ORIENTACIÓN BIAxIAL DE PREFORMAS DE P.E.T. NISSEI ASB V2**, del estudiante de la carrera de Ingeniería Mecánica Estefan Enrique Castro Ramos, quien se identifica con el registro académico **201313947** y CUI **2411562970101**.

Después de haberle hecho las correcciones pertinentes, considero que llena los requisitos para ser aprobado por la Escuela de Ingeniería Mecánica, en vista de ello se lo remito y pongo a su consideración.



Carlos Humberto Pérez Rodríguez
INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL
Colegiado 3071

Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Ingeniero Mecánico Industrial
Colegiado No. 3071
ASESOR



USAC

TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.EIM.135.2021

El Coordinador del Área Complementaria de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado: **MANUAL TÉCNICO DE OPERACIÓN Y CONTROL DE UNA MÁQUINA DE INYECCIÓN CON SOPLADO DE ORIENTACIÓN BIAxIAL DE PREFORMAS DE P.E.T. NISSEI ASB V2**, desarrollado por el estudiante **Estefan Enrique Castro Ramos** con Registro Académico **201313947** y CUI **2411562970101** recomienda su aprobación.

“Id y Enseñad a Todos”



Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Coordinador Área Complementaria
Escuela de Ingeniería Mecánica

Guatemala, octubre 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

LNG.DIRECTOR.005.EIM.2022

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador de área y la aprobación del área de lingüística del trabajo de graduación titulado: **MANUAL TÉCNICO DE OPERACIÓN Y CONTROL DE UNA MÁQUINA DE INYECCIÓN CON SOPLADO DE ORIENTACIÓN BI AXIAL DE PREFORMAS DE P.E.T. NISSEI ASB V2**, presentado por: **Estefan Enrique Castro Ramos**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica

Guatemala, enero de 2022

Facultad de Ingeniería

Decanato
24189101-
24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.032.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **MANUAL TÉCNICO DE OPERACIÓN Y CONTROL DE UNA MÁQUINA DE INYECCIÓN CON SOPLADO DE ORIENTACIÓN BI AXIAL DE PREFORMAS DE P.E.T. NISSEI ASB V2**, presentado por: **Estefan Enrique Castro Ramos**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana

Guatemala, enero de 2022

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser una importante influencia en mi carrera, y camino de vida.
Mi madre	Norma Ramos. Por ser mi guía incondicional, fuente de inspiración y de lucha.
Mis hermanos	Alan y Brisseth Castro. Por brindarme apoyo y ser parte esencial en mi vida.
En memoria de	Ericka Mejía (q.e.p.d.) por ser eternamente una importante influencia en mi vida personal y profesional.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser la entidad que me entrega todo el conocimiento que trazaré mi futuro.
Facultad de Ingeniería	Por ser mi casa de estudios y fuente de conocimiento y motivación.
Mis amigos de la Facultad	Luis Diego Aguilar por el compañerismo y apoyo sin igual durante el largo recorrido de mi carrera y Alberto Zacarías por impulsarnos mutuamente a alcanzar el éxito.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	IX
GLOSARIO.....	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. ANTECEDENTES	1
1.1. Eficiencia en el procesamiento	2
1.2. Propiedades físicas, mecánicas y químicas del PET	5
2. PROCESAMIENTO DEL PET PARA FABRICACIÓN DE BOTELLAS ...	11
2.1. Almacenamiento.....	17
2.2. Secado	18
2.3. Inyección de preformas	24
2.4. Estados del PET y sus transformaciones.....	37
2.5. Soplado por biorientación	42
3. MÁQUINA DE INYECCIÓN CON SOPLADO DE ORIENTACIÓN BIAXIAL	47
3.1. Introducción.....	47
3.2. Sistema hidráulico	50
3.3. Secador de resina.....	57
3.4. Etapa de inyección	61
3.5. Etapa de acondicionamiento.....	70

3.6.	Etapa de soplado	73
3.7.	Etapa de expulsión.....	77
3.8.	Mantenimiento e inspección	78
4.	ELEMENTOS DE OPERACIÓN DE LA MÁQUINA.....	109
4.1.	Agua de la torre de refrigeración	109
4.2.	Secador de resina	110
4.3.	Aire de operación	111
4.4.	Aire de soplado	112
4.5.	Agua del enfriador	112
4.6.	Comprobaciones antes de arrancar la máquina	114
4.7.	Arranque de la bomba hidráulica.....	115
4.8.	Temperatura del aceite	116
4.9.	Para de la bomba hidráulica.....	116
4.10.	Lubricación anterior al arranque.....	117
4.11.	Cuatro horas antes de arrancar.....	119
4.12.	Una hora antes de arrancar.....	119
4.13.	15 minutos antes de arrancar.....	120
4.14.	5 minutos antes de arrancar.....	120
4.15.	Operación de moldeo manual de preformas.....	121
4.16.	Ajustes necesarios en la operación de moldeo manual de preformas.....	123
5.	CONFIGURACIÓN DE LA MÁQUINA SEGÚN DIFERENTES PRODUCTOS.....	125
5.1.	Secado.....	127
5.2.	Ajustes del sistema hidráulico	129
5.3.	Ajuste del sistema neumático.....	134
5.4.	Ajuste del sistema de refrigeración.....	136

5.5.	Temperaturas de proceso.....	138
5.6.	Temporizadores.....	140
5.7.	Variables para control de equipos periféricos	144
5.8.	Instalación de instrumentos para control.....	149
CONCLUSIONES.....		161
RECOMENDACIONES.....		163
BIBLIOGRAFÍA.....		165
ANEXO.....		168

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Estructura molecular de una molécula de PET.....	6
2.	Estaciones de proceso en una inyectora con soplado de biorientación de una sola etapa.....	12
3.	Consumo de energía eléctrica en los procesos de una etapa y de dos etapas	14
4.	Esquema de procesamiento del PET para fabricación de botellas PET.....	16
5.	Reacción en presencia de agua en la resina PET	20
6.	Temperatura de proceso de secado vs. Tiempo de residencia.....	22
7.	Vena líquida en el perfil de velocidades del frente de flujo	25
8.	Perfil de presiones durante la inyección de la preforma	26
9.	Perfil de velocidades del flujo y del husillo.....	27
10.	Tamaño de disparo	29
11.	Configuración de la velocidad angular de husillos según su diámetro	32
12.	Cojín de inyección.....	34
13.	Parámetros de inyección.....	36
14.	Ordenamiento de las moléculas en estado sólido cristalino del PET ...	38
15.	Representación gráfica de las cadenas moleculares del PET en estado amorfo	39
16.	Representación gráfica de las cadenas moleculares del PET en estado biorientado.....	40

17.	Orden de las transformaciones moleculares del PET en el procesamiento	41
18.	Representación gráfica del soplado por orientación biaxial de una preforma	42
19.	Estirado axial y radial de la preforma	44
20.	Diagrama hidráulico	53
21.	Circuito neumático de aire de operación	55
22.	Circuito de soplado primario y secundario	56
23.	Diagrama de funcionamiento del sector de resina de PET	58
24.	Representación gráfica de la unidad de inyección	62
25.	Zonas del tornillo de inyección	63
26.	Perfil térmico del configurado durante la plastificación e inyección	66
27.	Relación de compresión del husillo	67
28.	Sección transversal de un tornillo de dos etapas	68
29.	Válvulas de ajuste de inyección	69
30.	Representación gráfica de la estación de acondicionamiento estándar para una inyectora de preformas con soplado biaxial	72
31.	Cubas de calentamiento de la etapa de acondicionamiento	73
32.	Diagrama de tiempos de ejecución de soplado de las preformas	74
33.	Punta de estirado de preformas	76
34.	Accesorios de la etapa de expulsión	78
35.	Visor del nivel de aceite	80
36.	Sistema de refrigeración de varias líneas con fugas de agua	80
37.	Tornillos de ajuste de piezas críticas	81
38.	Bandas de resistencia y correcta colocación de los tornillos de ajuste	83
39.	Filtro de succión del aceite hidráulico	84
40.	Intercambiador de calor de aceite hidráulico	84
41.	Tuercas de ajuste de las barras de placas móviles	85

42.	Caja de acoplamiento de cadena	86
43.	Tornillos de fijación de la placa corrediza de la unidad de inyección ...	93
44.	Placa corrediza de la unidad de inyección y bancada de la máquina ..	93
45.	Dirección del giro de la unidad e inyección para realizar trabajos de mantenimiento	94
46.	Plano de accesorios de cilindro y husillo de inyección	95
47.	Esquema de piezas de la unidad de inyección	97
48.	Acople del husillo con el pistón de inyección.....	98
49.	Piezas para limpieza de unidad de inyección	101
50.	Orden de ajuste de tornillos del cabezal de inyección	103
51.	Intercambiador de calor de aceite hidráulico de la máquina	103
52.	Configuración ideal del suministro de servicios a la máquina.....	114
53.	Área de lubricación en las piezas de moldes de inyección	118
54.	Gráfico de posiciones de inyección en milímetros	131
55.	Sensores de proximidad de posiciones del husillo	134
56.	Líneas de agua de la máquina	151
57.	Tensiones residuales de preformas PET polarizadas a 90°	155
58.	Configuración de los circuitos de aire de presoplado	157
59.	Diagrama de circuito de soplado con mayor control de cavidades	158

TABLAS

I.	Propiedades del PET	8
II.	Estimación del retroceso del husillo	32
III.	Especificaciones técnicas de la máquina	48
IV.	Averías del aceite hidráulico sucio	89
V.	Grado de contaminación permitida en equipos hidráulicos.....	91
VI.	Norma para el cambio del aceite del sistema hidráulico	92
VII.	Par de apriete de tornillos del cabezal del cilindro.....	101

VIII.	Aceite hidráulico; viscosidad cinética 41,1 – 50,6 cSt (40 °C)	105
IX.	Aceite lubricante (Clase de SUS 150-300/37,8 °C) (Clase de 32-68 cSt/40 °C)	105
X.	Grasa (consistencia 1 o 2)	106
XI.	Aceite de turbina (ISO VG32)	106
XII.	Especificaciones técnicas	126
XIII.	Modelo de ajuste de valores de inyección	133
XIV.	Modelo de ajuste del sistema neumático	135
XV.	Modelo de ajuste del sistema de refrigeración	138
XVI.	Modelo de ajuste de temperaturas de proceso	138
XVII.	Modelo de ajuste de temperaturas de la estación de acondicionamiento	139
XVIII.	Descripción de los temporizadores de inyección	140
XIX.	Descripción de los temporizadores de soplado	141
XX.	Descripción de los temporizadores de acondicionamiento	142
XXI.	Modelo de ajuste de temporizadores de proceso	143

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
kW	kilo watts.
L/min	Litros por minuto.
ASB V2	Marca y versión de maquinaria.
m³/min	Metros cúbicos por minutos.
mm	Milímetro.
Rpm	Revoluciones por minuto.
MPa	Unidad de medida de presión del sistema internacional de unidades.
Psi	Unidad de medida de presión que denota libras por pulgada cuadrada, por sus siglas en inglés.

GLOSARIO

<i>Chiller</i>	Equipo de refrigeración de agua mediante un ciclo cerrado.
Degradación	Pérdida de las propiedades de un plástico generalmente por la adición de calor.
<i>Dewpoint</i>	Temperatura del punto de rocío de algún cuerpo o el aire.
Estirado biaxial	Estirado de una preforma en sentido axial y radial mediante piezas metálicas y alta presión de aire.
Plásticos	Materiales sintéticos y orgánicos obtenidos de la polimerización.
Plastificación	Fundición del plástico por medio de compresión de un husillo y adición de calor.
Polimerización	Proceso de agrupación de monómeros en polímeros.
Polímero	Macromoléculas compuestas por varias unidades químicas llamadas monómeros.
Preforma	Pieza de plástico inyectada que se procesa para fabricar botellas.

RESUMEN

La versatilidad de los plásticos y de sus aplicaciones radica en las propiedades que estos ofrecen y la ventana de procesamiento en cuanto a la fabricación de piezas útiles que acompañan nuestra vida cotidiana. Son varios los diferentes procesos de los plásticos que emplean variados tipos de máquinas que transforman las resinas plásticas en un recipiente u objeto útil.

De las diferentes familias de plásticos, el PET difiere por la propiedad de higroscopia, misma que hace necesario un subproceso antes de la fundición y conformado del mismo.

Las máquinas de inyección con soplado de orientación biaxial fabrican botellas PET en una etapa mediante el secado, inyección, acondicionamiento y estirado biaxial de una preforma, proceso que requiere de un grado de conocimiento técnico sobre la materia prima y la operación correcta de la máquina desde el punto de vista de valores de operación y calibración de sistemas.

La profesionalización del personal de operación de maquinaria de inyección con soplado de orientación biaxial impulsa la creación de nuevos productos e innovación en los procesos, temas que pueden ser muy enriquecidos en Guatemala, mediante análisis de defectos y técnicas de desarrollo que permiten diseñar nuevos productos, reducir costos y mejorar la competitividad en el mercado.

OBJETIVOS

General

Crear un manual técnico sobre la configuración de una inyectora con soplado de orientación biaxial de preformas de P.ET. para la fabricación de botellas plásticas de distintas propiedades físicas.

Específicos

1. Definir la importancia del manual técnico para la fabricación de diferentes productos.
2. Definir el funcionamiento de la máquina y el procesamiento del Polietileno tereftalato para la fabricación de botellas P.E.T.
3. Crear con ejemplificaciones de las características físicas de los productos un manual técnico que aporte un punto de partida para la configuración de la maquinaria para la fabricación de los mismos.
4. Detallar los pasos a seguir para la configuración correcta de la máquina para fabricación de botellas.
5. Hacer un estimado de la reducción de los costos en el proceso de fabricación de botellas P.ET.

INTRODUCCIÓN

Los manuales del fabricante de maquinaria industrial incluyen información muy valiosa sobre la maquinaria adquirida por la empresa/institución en cuanto a montaje, instalación, puesta en marcha, mantenimiento, solución de problemas, entre otros... pero cuando una máquina trabaja con diferentes productos, como en el caso de una inyectora con soplado de orientación biaxial de preformas de P.E.T. en la que se instalan diferentes moldes diseñados por la empresa propietaria para botellas de diferentes geometrías, tamaños y pesos, la configuración de la máquina tiene que ser distinta para asegurar la calidad satisfactoria de las botellas.

La compañía ASB es proveedora de moldes para soplado de botellas P.E.T. y de los archivos técnicos de todas las configuraciones de la máquina para que su funcionamiento sea óptimo, sin embargo, en un diseño propio, no existe archivo técnico alguno que permita ajustar la máquina a tal punto que exista una sincronización completa de fabricación de botellas P.E.T. direccionando el proceso de fabricación a ensayo y error, para lo cual se utiliza materia prima, recurso humano, energía eléctrica, y tiempo en que la producción de esa máquina es interrumpida.

Las ventajas de un manual técnico son:

- Establecer los procesos correctos para el control del funcionamiento óptimo de la máquina.

- Proporcionar un punto de partida para configurar la máquina de modo que pueda producir botellas de buena calidad.
- Proporcionar un método para hacer chequeos de mantenimiento rutinario para eliminar problemas mecánicos o eléctricos que pueden significar problemas de moldeo de botellas PET.

1. ANTECEDENTES

El procesamiento del PET (polietileno tereftalato) para la fabricación de botellas, incluye una serie de procesos que se ejecutan en conjunto para que la calidad de las botellas fabricadas sea satisfactoria, es decir, aceptable para el departamento de control de calidad y para el cliente que adquiere el producto. Desde el montaje de los moldes de aluminio, hasta la configuración manual de las válvulas del control de inyección, el proceso suele ser muy ineficiente si algún subproceso no se ejecuta de manera correcta o sin los conocimientos técnicos requeridos.

El fabricante estima que una máquina Nissei ASB 50MB V2 debe producir aproximadamente un 1,5 % de la producción total de botellas defectuosas que son destinadas a reproceso, es decir, que la eficiencia de esta máquina es de 98 % aproximadamente en cada producción.

Los moldes de conformado de botellas PET son complejos y contienen muchas piezas mecánicas que deben ser montadas en la máquina para la producción de botellas con diferentes propiedades y geometrías, lo que significa diferentes productos para una empresa que se dedica a la venta de las mismas.

La compañía ASB proporciona los moldes de conformado de diferentes botellas PET si la empresa que se dedica a su venta así lo desea, para lo cual debe hacerse una inversión de aproximadamente \$30 000,00. Las ventajas de adquirir un molde de conformado de botellas PET fabricado son:

- La compañía proporciona una hoja de parámetros a ingresar para que el técnico que opera la máquina realice las configuraciones completas para arrancar la misma.
- La eficiencia de 97-98 % está garantizada: una máquina y un molde de conformado del mismo fabricante trabajarán muy bien.
- La calidad de la botella está garantizada: la compañía ASB cuenta con tecnologías modernas y software de moldeo que permiten identificar áreas débiles en la botella para corregirlos en la etapa de diseño.
- Los materiales utilizados son los correctos para asegurar una buena refrigeración donde sea necesaria.
- Los moldes proporcionados por ASB son sometidos a pruebas dentro del tiempo de entrega proporcionados por la compañía, lo que asegura la funcionalidad del molde.
- Por consiguiente, la recuperación de la inversión está garantizada siempre que la venta esté asegurada.

1.1. Eficiencia en el procesamiento

Eficiencia en el procesamiento es la relación que existe entre la materia prima utilizada y la cantidad de productos producidos. Las máquinas Nissei ASB tienen aproximadamente 97 a 98 % de eficiencia en condiciones ideales, es decir, con un molde proporcionado por la compañía, sin interrupciones en el suministro de energía eléctrica, o de servicios de los equipos periféricos, como aire comprimido, agua de refrigeración y aire de secado.

Algunas veces, estas condiciones no se cumplen, provocando que mantener la eficiencia productiva de la máquina sea más difícil y se produzcan más envases defectuosos, que, si bien son reprocesados, no son destinados a la venta directa y afectan negativamente la eficiencia. Un caso muy particular de condiciones especiales de producción diferentes a las condiciones ideales es la utilización de moldes fabricados localmente.

La fabricación de moldes conlleva una inversión mucho menor, pero trae otros problemas de moldeo y de ajuste de la máquina para hacer una producción eficiente, lo cual no es posible en un inicio ya que se tienen que hacer ensayos de prueba y error, significando esto costos de utilización de la máquina, materia prima utilizada y tiempo perdido que podría ser productivo.

Las desventajas de este caso particular son:

- El peso de la botella tiende a ser una estimación luego del maquinado de las piezas del conformado de preformas que luego se someterán a estirado biaxial.
- Los problemas de moldeo no suelen tener una solución rápida ya que el molde fabricado localmente está fuera de los conceptos que se manejan en la compañía fabricante de moldes con amplia experiencia e ingeniería aplicada.
- No existe definida alguna clase de parámetros que deben utilizarse en la máquina para fabricar un buen producto como lo son tiempos y velocidades de inyección, presiones hidráulicas del sistema, presiones de aire de soplado, entre otros.

La configuración de la máquina está en directa relación con las propiedades físicas de la botella que se está produciendo, el peso es una de las más importantes, al fabricar un molde localmente debido a que está directamente relacionado con el precio de venta de cada producto, pero a la vez es una propiedad muy importante que define la diferencia entre fabricar botellas plásticas y fabricar botellas PET de calidad, dichas propiedades no serán controladas como la compañía fabricante de los moldes.

Cuando se realiza una producción de botellas PET con un molde fabricado localmente la cantidad de botellas defectuosas que serán destinadas a reproceso puede ascender hasta un 4-5 % sin tomar en cuenta la materia prima utilizada para realizar las pruebas de fabricación las cuales pueden representar hasta 100 Kg de materia prima destinada solo a dichas pruebas.

La producción de botellas PET puede ser muy ineficiente si no se tiene control de los parámetros que influyen dentro de la misma como, por ejemplo: las temperaturas de componentes de la máquina, de los moldes, la refrigeración de las piezas mecánicas de moldeo, entre otros. Significando esto una producción muy ineficiente y costos para la empresa fabricante de botellas PET.

Mejoras en la eficiencia de la máquina pueden significar la diferencia entre la continuación de la producción de una botella PET o la discontinuación del mismo, esto se puede dar debido a que los parámetros de moldeo de la misma no son controlados correctamente por la falta de información técnica que defina cómo hacerlo. Un manual técnico establece reglas a seguir para controlar mejor una producción, aumentar la eficiencia de la máquina y controlar el peso de las botellas producidas de modo que el precio de venta no sea valorado según un peso por botella menor al que se produce actualmente.

1.2. Propiedades físicas, mecánicas y químicas del PET

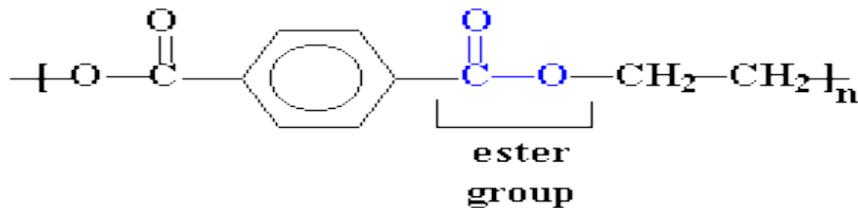
Los plásticos se pueden clasificar en tres grupos:

- Termoplásticos: es un plástico que, a temperatura caliente, es plástico o deformable, se derrite cuando se calienta y se endurece en un estado vítreo cuando se enfría lo suficiente. Los termoplásticos son polímeros de alto peso molecular.
- Termoestables: son polímeros infusibles e insolubles. La razón de tal comportamiento estriba en que las cadenas de estos materiales forman una red tridimensional espacial, entrelazándose con fuertes enlaces covalentes.
- Elastómeros: son aquellos polímeros que muestran un comportamiento elástico, como el caucho.

El PET, al igual que todos los plásticos, es un polímero: los polímeros son macromoléculas formadas por la unión de moléculas más pequeñas llamadas monómeros.

Es un tipo de materia prima plástica derivada del petróleo y pertenece al grupo de materiales sintéticos denominados poliésteres. Su estructura molecular está conformada por cadenas hidrocarbonadas que contienen uniones de éster, por ello, el nombre: POLI/ETILEN/TERAFTALATO, ya que se compone de grupos de teraftalato y de etileno.

Figura 1. Estructura molecular de una molécula de PET



Fuente: MÉNDEZ, Adrián. *Problemas decisivos en el reciclado del PET: humedad*. www.pt-mexico.com/articulos/problemas-decisivos-en-el-reciclado-de-pet-humedad. Consulta: julio de 2021.

Químicamente el PET es un polímero que se obtiene mediante una reacción de policondensación entre el ácido tereftálico y el etilenglicol. Pertenece al grupo de materiales sintéticos denominados poliésteres.

Es un polímero termoplástico lineal, con un alto grado de cristalinidad, es decir que es propenso a formar cristales en su estructura molecular.

Como todos los termoplásticos, puede ser procesado mediante extrusión, inyección y soplado, soplado de preforma y termo conformado. Para evitar el crecimiento excesivo de los cristales, este material debe ser rápidamente enfriado, con lo que se logra una mayor transparencia. La razón de su transparencia al enfriarse rápidamente consiste en que los cristales no alcanzan a desarrollarse completamente y su tamaño no interfiere con la trayectoria de la longitud de onda de la luz visible.

La formación de cristales es un fenómeno perjudicial en el procesamiento del PET en una etapa ya que provoca un blanqueamiento en la botella fabricada, disminuyendo las propiedades estéticas y mecánicas en los puntos de

cristalización ya que en una zona cristalizada no es posible el estirado correcto de una preforma. Es por esto que el ajuste de todos los parámetros de proceso de funcionamiento de la máquina se acopla en un punto óptimo de beneficio entre calidad y tiempo.

Otra propiedad química del PET es la higroscopia, las características que demanda más consideración en el procesamiento del PET. La higroscopía significa que la sustancia o compuesto que lo sea tiene la capacidad de absorber humedad del medio circundante con gran facilidad, es por esta propiedad que el procesamiento conlleva un subproceso de secado antes del termoformado.

La viscosidad intrínseca es un parámetro muy importante para medir las diferentes calidades del PET; a mayor viscosidad intrínseca, las cadenas de moléculas son más largas proporcionando a la botella mejores características mecánicas como resistencia al impacto, espesores de pares y mejor apariencia. Para botellas se utiliza PET con un rango entre 0,72 a 0,85 de IV dependiendo del uso del envase, generalmente de 0,72 a 0,78 es para bebidas no carbonatadas y de 0,78 a 0,85 para bebidas carbonatadas. Degradación del PET: la degradación del PET significa la descomposición del mismo la cual puede darse de ciertas formas:

- Hidrólisis: la degradación hidrolítica del PET se da cuando el contenido de humedad aún es muy alto para el posterior fundido, enfriado y estirado por biorientación, pasos que conlleva el procesamiento para fabricar botellas. Durante el fundido del PET las moléculas de agua presentes debido a la humedad, rompen las cadenas formadas en la estructura cristalina del mismo, lo que se traduce en una disminución de la viscosidad intrínseca I.V. del PET.

- Termo-oxidativo: la oxidación termo-oxidativa ocurre cuando el PET está expuesto a altas temperaturas durante períodos de tiempo muy largos, esto puede ocurrir durante el secado; o en la unidad de inyección que es la que se encarga de fundir el PET e inyectarlo.

Según la tabla I, una de las propiedades que tiene mucha importancia para el procesamiento es la temperatura de fusión, esta temperatura está directamente relacionada con el perfil térmico necesario para configurar las temperaturas de la unidad de inyección. Consultar apartado 3.5.

La temperatura de transición vítrea del PET es la temperatura a la cual el mismo tiene una consistencia elástica y es maleable, se puede moldear, estirar y soplar; la misma comienza desde los 75 °C hasta los 120 °C según se observa en la tabla I.

En este rango debe mantenerse una preforma con un gradiente térmico lo más bajo posible antes de someterse al estirado biaxial de la estación de soplado. Apartado 3.7.

Tabla I. **Propiedades del PET**

ÍTEM	Valor
Fórmula molecular	$(C_{10}H_8O_4)_n$
Densidad amorfa	1 370 g/cm ³
Densidad diamantina	1 455 g/cm ³
Módulo de Young (E)	2 800–3 100 MPa
Presión	55–75 MPa
Límite elástico	50–150 %
Prueba de impacto	3,6 kJ/m ²
Prueba de fractura y ruptura	14,89 N/m ²
Temperatura de transición vítrea	75 °C

Continuación de la tabla I.

Punto de fusión	260 °C
Vicat B	170 °C
Conductividad térmica	0,24 W/(m·K)

Fuente: Colaboradores de Wkipedia. *Tereftalato de polietileno*.

https://es.wikipedia.org/wiki/Tereftalato_de_polietileno. Consulta: julio de 2021.

La tabla I muestra otras propiedades del PET, entre ellas una muy importante para lograr una buena plastificación dentro de la unidad de inyección, la temperatura de fundido que esta entre 250 °C y 260 °C.

La temperatura de transición vítrea debe ser considerada para obtener un buen perfil térmico en la preforma antes de someterla al estirado biaxial, este punto se encuentra de 75 a 120 °C.

2. PROCESAMIENTO DEL PET PARA FABRICACIÓN DE BOTELLAS

El PET es uno de los polímeros estándares que pueden ser inyectados para ejecutar algún tipo de procesamiento que involucre la transformación de la materia prima.

La primera aplicación importante del PET fue en el mercado de bebidas carbonatadas suaves. No obstante, este mercado es muy estacional, con la mayor demanda durante los cálidos meses de verano, y algo menor en Navidad y año nuevo.

El proceso de una etapa, el cual fabrica la botella a partir de la materia prima en bruto en un solo proceso, trabaja a su máxima capacidad sin cubrir los picos de demanda y en tal caso trabajaba por debajo de su capacidad la mayor parte del tiempo. Por añadidura, el sistema de mesa giratoria entre estaciones de una máquina inyectora con soplado de biorientación empleado está limitado en relación al número de cavidades que podían ser moldeadas en una sola máquina. Para alcanzar la gran demanda de botellas significa invertir en un gran número de máquinas, las cuales estarían paradas la mayor parte del año. Todo ello en tanto que el desarrollo de aplicaciones no carbonatadas no tuviera lugar.

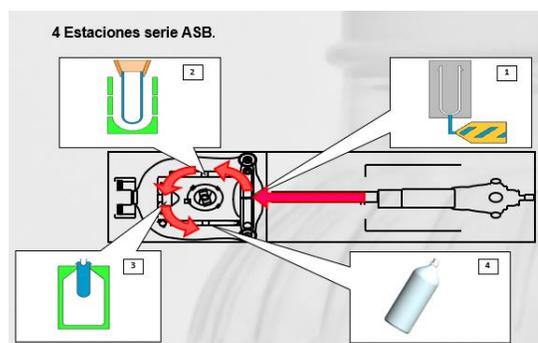
El desarrollo del proceso de dos etapas se basó en este mercado. Bajo este proceso el moldeo de las preformas fue separado del estirado y soplado de la botella, entonces esas preformas podrían ser fabricadas durante todo el año y almacenadas. Estas podrían ser sacadas del almacén y alimentar a una

sopladora de preformas de alta producción para cubrir las oscilaciones de la demanda estacional.

El proceso de dos etapas ofrece una ventaja muy superior al proceso de una etapa ya que las preformas son inyectadas en máquinas con unidades de inyección y moldes de inyección más grandes, de hasta 32 cavidades de preformas, es decir que la máquina entregará 32 preformas al terminar cada ciclo de preformas el cual puede ser de hasta 20 segundos, otorgando una producción de 138 000 preformas en 24 horas, las cuales son la materia prima de máquinas sopladoras que también son especializadas para esta segunda etapa en el proceso y contienen más elementos para el control de moldeo.

El proceso de una sola etapa fue desarrollado originalmente por *Aoki Technical Laboratory* en Japón y fabricado por Nissei ASB y se compone de 4 estaciones: una estación de inyección, de acondicionamiento térmico, una de estirado-soplado, y una estación de expulsión que operan en una mesa giratoria como se muestra en la figura 2.

Figura 2. **Estaciones de proceso en una inyectora con soplado de biorientación de una sola etapa**



Fuente: Colaboradores de NISSEI ASB MACHINE CO., LTD. *Curso de capacitación*. p 7.

La figura 2 muestra la vista de planta de una máquina de inyección de preformas con soplado de biorientación, es decir el procesamiento de botellas PET en una sola etapa. La mesa giratoria es el mecanismo de sistema reductor y servo motor que permite el giro de las preformas a las diferentes estaciones de trabajo para el procesamiento de una etapa.

- Rentabilidad

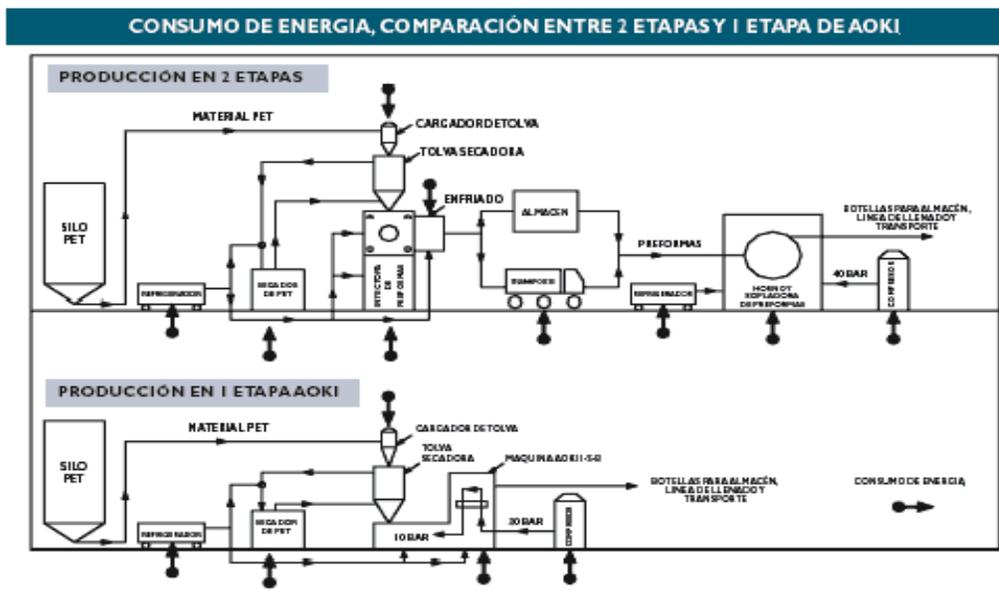
Suponiendo una demanda anual de 40,5 millones de botellas, lo que significa 3 375 millones de botellas por mes y que en los meses de pico se requieren 4 millones de botellas mensuales, teóricamente, se seleccionaría una máquina de inyección de preformas que produzca 3 375 millones de preformas mensuales, durante todo el año y las preformas se almacenarían para cubrir la demanda de botellas. Sin embargo, no pueden ser almacenadas durante mucho tiempo ya que de otra forma no podrían ser sopladas adecuadamente y en cualquier caso una máquina de inyección de 48 cavidades produciría alrededor de 3,9 millones de preformas mensuales. La elección es por lo tanto intentar vender preformas o tener la máquina parada una buena parte del año.

Por otra parte, la máquina de soplado de preformas debe ser elegida con el tamaño adecuado para cubrir el momento de máxima demanda y cuando la demanda sea inferior al máximo, las botellas deben ser almacenadas ocupando un gran espacio de almacenamiento, además del coste que supone el capital así bloqueado. Al objeto de este modelo se ha asumido que, por razones de seguridad de la producción, al menos son necesarias dos máquinas. Una máquina trabajaría por lo tanto de forma continuada y la segunda equilibraría las oscilaciones de la demanda. Sin embargo, debido a las limitaciones de la producción de preformas, habrá también una limitación en las posibilidades de venta de la capacidad sobrante. En resumen, el proceso de dos etapas está

siempre presentando desventajas y debe trabajar con márgenes de beneficios y retornos de la inversión muy bajos.

Para el supuesto de la misma demanda estacional se asume que no puede ser cubierta con una sola máquina de una etapa. Las opciones, por lo tanto, son: instalar otra máquina de una etapa mayor, en cuyo caso los problemas de venta de la gran capacidad sobrante se aplican igualmente. En las dos últimas opciones la versatilidad de las máquinas de una etapa hace que la tarea de vender la capacidad sobrante sea mucho más fácil. El adquirir más máquinas también implica más consumo de energía eléctrica en una planta de producción como se muestra en la figura 3.

Figura 3. **Consumo de energía eléctrica en los procesos de una etapa y de dos etapas**



Fuente: Departamento técnico de Aoki. (2002, 1 agosto). *Botellas de PET: ¿El proceso de dos etapas o integrado?* www.interempresas.net/Plastico/Articulos/6472-Botellas-de-PET-el-proceso-de-dos-etapas-o-el-integrado.html. Consulta: julio de 2021.

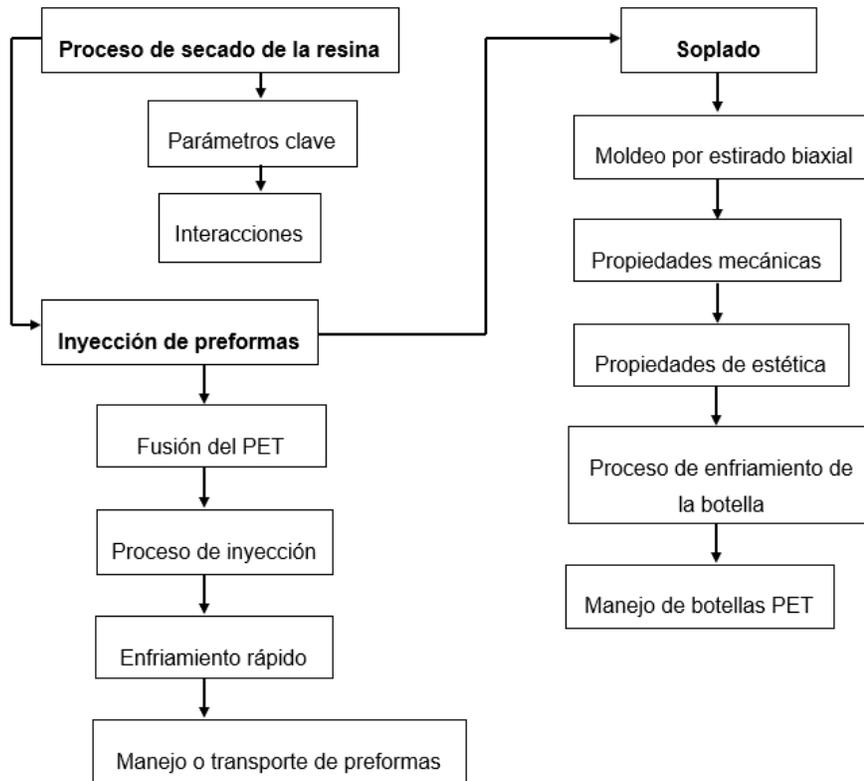
Como se observa en la figura 3, el procesamiento del PET en dos etapas supone un consumo energético mayor para la fabricación de botellas, lo que lo hace más rentable cuando el número de máquinas es mayor.

El proceso de manufactura para la fabricación de botellas PET comprende la transformación de la materia prima virgen en el estado inicial en una botella funcional que cumple ciertos estándares de calidad y tiene propiedades físicas y mecánicas que la hacen óptima para su venta. El procesamiento en una etapa tiene cinco procesos principales los cuales son:

- Almacenamiento
- Secado de la resina
- Inyección de preformas
- Soplado de la preforma
- Empaque y almacenamiento

De estos componentes los más importantes en cuanto a la producción de botellas PET en una etapa son el secado de la resina, la inyección de preformas y el soplado de la preforma, como se muestra en el siguiente diagrama.

Figura 4. **Esquema de procesamiento del PET para fabricación de botellas PET**



Fuente: elaboración propia, empleando Word.

Cada componente en el procesamiento del PET para la fabricación de botellas tiene una serie de variables que permiten ejecutar la operación de manera correcta para lograr optimizar el proceso completo.

El secado del PET depende en primera instancia del producto que se esté produciendo ya que tiene propiedades como peso, dimensiones, entre otros factores que serán determinantes para la configuración correcta del secado.

La inyección de la preforma ocupa muchos parámetros como presiones y velocidades de inyección, según el peso de la preforma y por ende de la botella final, espesores de pared, viscosidad intrínseca del material, temperaturas de proceso del barril, entre otros.

El soplado de la preforma depende de mucha sincronización de temporizadores y presiones neumáticas para el moldeo por estirado biaxial evitando fenómenos que puedan afectar a la botella PET.

2.1. Almacenamiento

La materia prima, luego de la adquisición, debe ser almacenada en la bodega de materia prima a la espera del despacho a la planta de producción para la fabricación de productos. La propiedad de higroscopia del PET hace que no sea necesario almacenar el PET en un ambiente con humedad controlada, los índices de humedad relativa que se presenten en el medio circundante no afectarán de manera significativa el estado de la materia prima.

Se dice que en un saco jumbo de 2 000 kilogramos de resina PET hay aproximadamente un litro de agua en humedad absorbida por el mismo. La absorción de humedad del PET es un fenómeno que no se puede evitar en ningún ambiente de almacenamiento como el de una bodega ya que el proceso de secado de la resina requiere un tiempo de permanencia de cuatro horas a una temperatura de entre 160 y 180 °C, esto hace que cualquier esfuerzo por controlar la humedad del ambiente de la bodega sea inútil debido a que el tiempo y energía necesarios para el secado del PET son parámetros que se deben considerar y calcular correctamente.

Es deseable que en el almacenamiento del PET se evite la contaminación del mismo con polvo, tierra y cualquier otro tipo de materia sólida que pueda afectar a los equipos de procesamiento del mismo, por lo que se sugiere que la bodega de almacenado se encuentre lejos de aparcamientos de tierra, pedrín, o calles de terracería.

2.2. Secado

El secado es el subproceso del proceso de fabricación de botellas PET más importante para asegurar la calidad satisfactoria de los productos. Se logra mediante y flujo de aire continuo que viaja a través de la tolva de material principal de la máquina.

- Ventajas de un buen secado:
 - El contenido de humedad de la resina será la mínima permitida, para el fundido y cambio de estado del PET, evitando la degradación hidrolítica del PET que afecta a las características químicas y físicas del material durante el termoformado.
 - El secado también significa un precalentamiento del material, haciendo que el fundido en la unidad de inyección sea más fácil y el proceso sea más estable, evitando cambios bruscos en la viscosidad de la resina lo que resultaría en una variación en el ciclo de producción de la máquina.
 - Proporciona más estabilidad a la máquina en el proceso, lo que significa que la tasa de producción de envases defectuosos se mantendrá a un nivel muy bajo y la eficiencia de la misma estará

dentro de los rangos estipulados por el fabricante y generando menos costos para la industria fabricante las botellas PET.

- El consumo de energía no excederá de lo requerido para el secado de la resina que se utilizará en la producción de un producto. Este consumo de energía remanente se puede generar por una excesiva temperatura de secado o tiempo de permanencia y significa solamente costos a la industria que se dedica a la fabricación de botellas PET.
- Desventajas de un mal secado:
 - Se pueden ver afectadas las propiedades físicas del producto final lo que significa una botella de calidad no satisfactoria para el departamento de control de calidad.
 - Se corre el riesgo de inducir la oxidación termo-oxidativa del PET y producir botellas de mala calidad, esto también puede echar a perder una cantidad valiosa de resina virgen que se podría utilizar normalmente, significando costos para la fábrica.
 - El consumo eléctrico de los quipos de secado del material puede incrementarse de manera inservible para la fabricación de las botellas.
 - Altas temperaturas de proceso pueden provocar el efecto puente, en el que algunos pellets de material se derriten en la tolva del secador y los que están a su alrededor se pequeñen formando una

cadena de pellets de resina que ingresa a la unidad de inyección y sea más difícil de transportar y fundir.

Figura 5. **Reacción en presencia de agua en la resina PET**



Fuente: elaboración propia, empleando Word.

La figura 5 muestra la explicación de la reacción del PET al ser procesado con altos contenidos de humedad: La resina adquirida puede tener una alta viscosidad intrínseca, pero al no ser secada correctamente ocurre la degradación hidrolítica del PET, que rompe las cadenas de monómeros ocasionando una caída de la IV y proporcionando malas características mecánicas, físicas, estéticas y problemas de proceso.

La saturación máxima de humedad del PET es del 0,4 % en peso. El valor máximo permitido en peso de humedad para procesar el PET sin problemas de hidrólisis es de 0,005 %.

Durante el secado, las partículas de agua se encuentran atrapadas dentro de los pellets del PET, tales partículas son vaporizadas por un flujo de aire caliente en función de su temperatura y el tiempo de residencia del material en la tolva. Esto logra extraer la partícula de agua a la superficie de los granos y es expulsada por el mismo flujo de aire en función de su sequedad y del caudal.

- Requerimientos para un buen secado

Para que el secado sea efectivo, el tiempo de residencia del material en la tolva del secador tiene que ser correcto. El mismo tiene que tener una duración de 4 horas antes del arranque de la máquina. Una vez la máquina esté trabajando, el tiempo de residencia dependerá del tamaño de la tolva y el consumo de PET en kg/h el cual a su vez depende del producto que se esté fabricando.

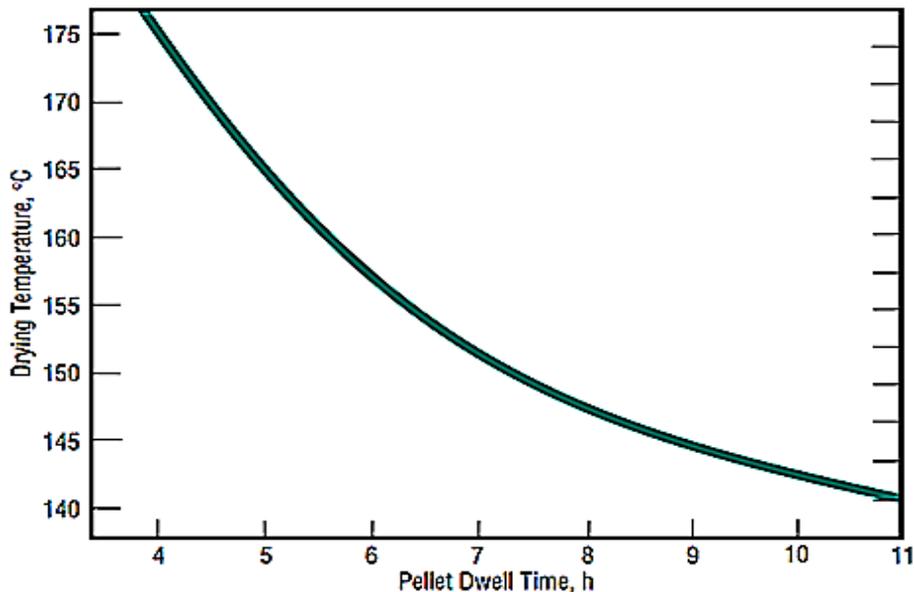
El tiempo de residencia se refiere al tiempo en el que un pellet viaja desde la parte superior de la tolva de la secadora hasta la unidad de inyección de la máquina.

Durante el tiempo de residencia, la temperatura del aire y el caudal del mismo deben tener valores específicos, el caudal de aire de secado está dado por la capacidad del soplador y generalmente es de 0,06 m³ como mínimo. La temperatura se encuentra entre 150 y 170 °C dependiendo del producto que se esté fabricando.

La sequedad del aire depende de la efectividad el elemento desecante del secador, el parámetro que se utiliza para medir la misma es el punto de rocío del aire de secado el cual debe estar entre -20 a -40 °C.

Debido a que diferentes productos pueden tener diferentes pesos, el tiempo de residencia del plástico dentro del secador puede variar. Un mayor peso por cada inyectada de la máquina supone un mayor consumo de material y por consiguiente un menor tiempo de residencia en el secador. Para definir la temperatura de secado del material se utiliza la siguiente gráfica.

Figura 6. **Temperatura de proceso de secado vs. Tiempo de residencia**



Fuente: NISSEI ASB MACHINE CO., LTD. *Machine initial setting guide* (PET). 2013. p 4.

La figura 6 muestra el gráfico de temperaturas de proceso se secado óptimas según el tiempo de residencia del PET en el secador.

El tiempo de residencia del PET depende directamente del peso del producto que se esté inyectando y el tamaño de la tolva del secador, este tiempo debe calcularse en función del número de botellas que la máquina fabricará y el peso de cada una de ellas.

La máquina es capaz de producir cuatro botellas por ciclo, cada una con un peso g de gramos, el tamaño de inyección es:

$$4 g = \text{tamaño de inyección (kg)}$$

La cantidad de ciclos que la máquina ejecutará en una hora está definida como:

$$\frac{3,600}{\text{ciclo de la máquina}} = \text{ciclos por hora}$$

El consumo de plástico en kg/h que la máquina podrá inyectar es:

$$\text{Ciclos por hora} \times \text{tamaño de inyección} = \text{Ciclos por hora} \times 4 \text{ g}$$

El tiempo de residencia del plástico dentro de la tolva del secador será entonces:

$$\begin{aligned} \text{Tiempo de residencia} &= \frac{\text{capacidad de la tolva en kg}}{\text{consumo de material en } \frac{\text{kg}}{\text{h}}} \\ \text{Tiempo de residencia} &= \frac{M \text{ (kg)}}{\left(\left(\frac{3,600}{\text{ciclo}} \right) \left(\frac{4 \text{ g}}{1,000} \right) \right) \frac{\text{kg}}{\text{h}}} \end{aligned} \quad (1)$$

La variable M de la ecuación 1 representa los kilogramos de plástico que la tolva del secador puede alojar estando completamente llena. El valor que resulta de la ecuación 1 representa el tiempo de residencia que se encuentra en el eje vertical de la figura 4, la intercepción de dicho valor en el eje con la curva de la gráfica arroja el calor de temperatura de proceso optima en el secado que se lee en el eje vertical.

2.3. Inyección de preformas

La inyección de preformas se ejecuta en varios instantes que juntos reciben el nombre de secuencia de inyección y logran la inyección de una preforma completa.

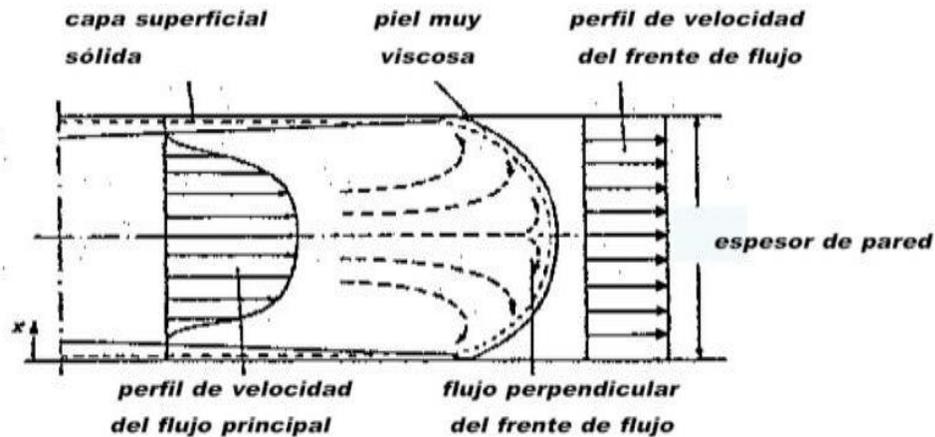
El primer instante en la secuencia es la inyección; en este instante el objetivo es llenar el molde de inyección, con plástico fundido en un 90 a 95 % de su totalidad. El llenado del molde de inyección se ejecuta a presiones y velocidades elevadas utilizando gran parte de la presión máxima de la máquina con la finalidad de reducir el tiempo de ciclo.

La velocidad de inyección es la única velocidad crítica en el proceso de inyección ya que de la última depende el ciclo de la máquina, que es el tiempo en que la máquina tarda en fabricar las botellas. Dependiendo de la geometría de la pieza y de la regulación de esta velocidad se obtendrá un llenado más o menos rápido de la cavidad.

Resulta evidente que a una mayor velocidad de inyección se obtiene un tiempo de inyección menor y por el contrario velocidades lentas de inyección darán altos tiempos de inyección o llenado.

Las velocidades de inyección altas hacen que la presión hidráulica necesaria se incremente rápidamente. Por el contrario, las velocidades lentas de inyección implican caídas de presión en la boquilla y los canales de distribución debido al rápido crecimiento de la capa sólida, en este caso se pierde la “vena líquida” del frente de flujo y por tanto no se puede transmitir la presión óptimamente. Esta es otra razón por la cual velocidades elevadas, hasta cierto punto, de inyección son favorables en la etapa de inyección.

Figura 7. **Vena líquida en el perfil de velocidades del frente de flujo**



Fuente: LERMA, José Ramon. *Top parámetros clave de regulación del proceso de inyección*. www.interempresas.net/Plastico/Articulos/216588-Top-parametros-clave-de-regulacion-del-proceso-de-inyeccion.html. Consulta: julio de 2021.

La figura 7 muestra el perfil de velocidades formado dentro de la cavidad de inyección en el momento en que se está llenando, las capas de plástico que tienen contacto con las paredes del molde refrigerado se enfriarán y producirán una capa solidificada mientras que el flujo en la parte central del canal se mantendrá líquido y mientras este frente de flujo sea menor, la transmisión de la presión será ineficaz y se hará necesaria una demanda de presión mayor para mantener un perfil de velocidades favorable.

Como objetivo, la velocidad del husillo debe controlar el avance del material en la cavidad. El llenado debe ser lo más constante y rápido posible.

La demanda de velocidad de inyección es directamente proporcional al espesor de pared de plástico de la pieza inyectada, es decir que en una sección

donde la pieza es más delgada el plástico fundido fluirá a mayor velocidad, por el contrario, en una zona de la pieza con mayor espesor de plástico este fluirá a menor velocidad, para un valor de presión constante durante todo el llenado (figura 8).

Figura 8. **Perfil de presiones durante la inyección de la preforma**



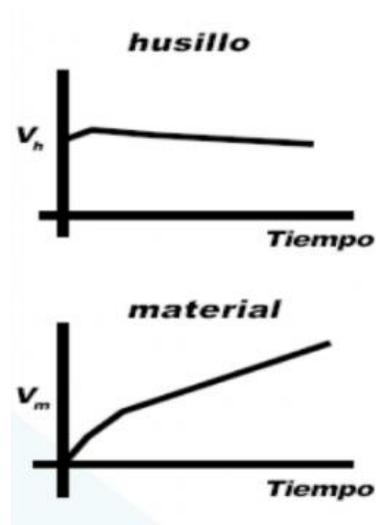
Fuente: LERMA, José Ramon. *Parámetros clave de regulación del proceso de inyección*.
www.interempresas.net/Plastico/Articulos/216588-Top-parametros-clave-de-regulacion-del-proceso-de-inyeccion.html. Consulta: julio de 2021.

Según la figura 8: la presión de inyección estará en un nivel de aumento al inicio de la inyección debido a la inercia del husillo y del plástico que atraviesa el canal caliente hasta llenar el molde de inyección y alcanzará un nivel estable cuando la preforma se encuentre llenándose. Esta proporcionalidad indica el nivel de esfuerzo, es decir presión, que hace la unidad de inyección para cumplir con la velocidad programada.

En la inyección de preformas el espesor de la pared es casi constante en toda su longitud excepto por la sección del cuello de la misma que disminuye en 1,5 mm aproximadamente, quiere decir que la velocidad del plástico fundido

tenderá a ser mayor cerca del final de la inyección y la velocidad del husillo será constante, como se muestra en la siguiente figura 9.

Figura 9. Perfil de velocidades del flujo y del husillo



Fuente: LERMA, José Ramon. *Parámetros clave de regulación del proceso de inyección*. www.interempresas.net/Plastico/Articulos/216588-Top-parametros-clave-de-regulacion-del-proceso-de-inyeccion.html. Consulta: julio de 2021.

Se representa en la figura 9 el perfil de velocidades del frente de flujo de plástico y del husillo. La velocidad del plástico irá en aumento a medida que la sección del molde de inyección disminuya, mientras que el husillo mantendrá una velocidad constante durante todo el llenado de la preforma para lo cual el flujo de aceite hacia el pistón hidráulico durante su actuación es constante. (Sección 3.2: válvula de inyección).

Como norma general se debe llenar la cavidad en el mínimo tiempo posible, no solo por reducir el ciclo total de trabajo sino para evitar el crecimiento prematuro de la capa sólida que pueda evitar un correcto presurizado de la

cavidad. Se debe saber que velocidades muy altas pueden producir sobrecalentamientos y degradar el material térmicamente, se pueden producir tensiones de cizalla máximas del material provocando rotura de cadenas moleculares causando una caída en la IV y por consiguiente la pérdida de propiedades. Se pueden producir estiramientos y desplazamientos de la capa fría solidificada, aflorando la capa fundida interior hacia el exterior generando defectos estéticos.

La velocidad de llenado está influenciada principalmente por:

- Fluidez del material.
- Viscosidad del material, que está en función de la temperatura.
- Espesores de pared de la pieza.
- Diferencias de espesores.
- Acabado superficial del molde y de la pieza.

La segunda etapa de la secuencia de inyección se llama sostenimiento o compactación. En esta etapa la máquina ejecuta un cambio llamado conmutación en donde el circuito hidráulico disminuye la presión hidráulica de inyección y la sostiene por un tiempo determinado, así el llenado restante de 5 a 3 % de la cavidad se ejecuta con una presión de máximo el 50 % de la presión de inyección. El tiempo que la máquina sostiene esta presión, es un parámetro que el operador de la máquina configura en la interfaz hombre-máquina y depende de factores como: el peso de la preforma, la geometría de la botella, la cantidad de plástico a inyectar, entre otros aspectos.

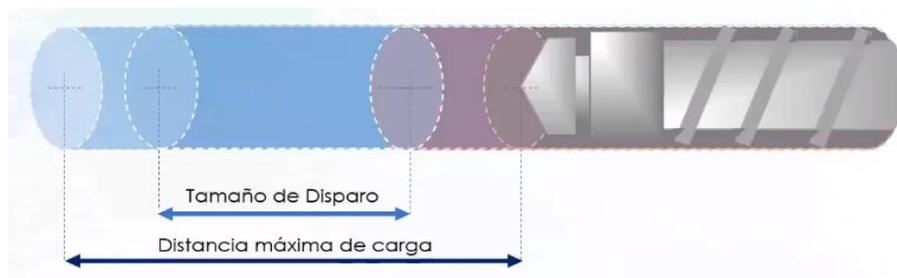
Los objetivos principales de la compactación son:

- Evitar las contracciones del PET fundido al llenar el molde de inyección que se dan a causa del enfriamiento que este sufre al hacer contacto con las partes del molde refrigeradas.
- Finalizar el llenado del molde de inyección a presión controlada, esto logra evitar excesos de plástico y rebabas.
- Compactar las moléculas para lograr una orientación molecular pareja y favorecer el estirado biaxial.

Durante la inyección y el sostenimiento, el husillo ejecuta un movimiento horizontal para inyectar la cantidad de plástico correcto en el molde. Dicha carrera o movimiento horizontal se llama tamaño de disparo.

El plástico fundido que será inyectado tiene la forma de un cilindro con extremos cónicos que son iguales y replican la figura de la punta del husillo y la boquilla del cañón y para fines de cálculo estos conos se anulan, tomando en cuenta solo el cilindro.

Figura 10. **Tamaño de disparo**



Fuente: PULIDO, José. *Posiciones en la inyección de plásticos*.
www.capacitacionplastico.com. Consulta: julio de 2021. p 7.

Se aprecia en la figura anterior el tamaño de disparo que representa la masa de plástico fundido que será inyectado. La punta del husillo tiene una forma cónica al igual que boquilla del cañón por lo que se anulan. El tamaño de disparo equivale a la altura del cilindro de plástico fundido que se forma dentro del cañón.

Partiendo de

$$\begin{aligned}\rho &= m/V \\ V &= m/\rho \\ \pi \left(\frac{d^2}{4} \right) H &= m/\rho \\ H &= Td. = \frac{4 m}{\pi d^2 \rho}\end{aligned}\quad (2)$$

En la ecuación #2, Td es el tamaño de disparo, m representa la masa inyectada por cada disparo o inyección de todas las cavidades de preforma.

El tamaño de disparo se vuelve necesario porque es el concepto clave para el cálculo de las demás posiciones del husillo en la secuencia de inyección.

Es importante definir que desde el inicio de la etapa de sostenimiento la preformas se encuentra inyectada en un 90 %, es decir que el flujo de plástico está reducido al mínimo y éste está en contacto con las paredes del molde de inyección de preformas, por lo que al iniciar la etapa de sostenimiento automáticamente también inicia el enfriamiento.

- Punto de conmutación:

Es la posición del husillo cuando se cambia de la primera a la segunda etapa de inyección.

Como en la primera etapa de la inyección se inyecta el 90 % de la cantidad de plástico necesaria para llenar la cavidad del molde, el punto de conmutación estará un 10 % del tamaño de disparo antes de la posición final de inyección. Esta cantidad sumada al cojín de inyección corresponde al punto de conmutación:

$$\text{Conmutación} = 0,10(Td.) + \text{cojín} \quad (3)$$

La siguiente acción del husillo durante la secuencia es la descompresión: Este instante significa una despresurización del plástico en el cañón y por consiguiente en el molde de inyección. La descompresión es entonces el instante en que finaliza la etapa de sostenimiento.

Después de la descompresión el husillo ejecuta un retroceso sin giro con el fin de interrumpir el flujo de material fundido en el canal caliente, dicho espacio vacío creado por el retroceso se llenado por material nuevo en la carga o plastificación.

El objetivo del retroceso es evitar el escurrimiento de plástico fundido. El retroceso no debe ser muy elevado porque de ser así, se estaría introduciendo mucho aire dentro de las cavidades de inyección y esto puede provocar efectos negativos en la preforma como burbujas, marcas de flujo o recalentamiento concentrado en una zona específica. Para conocer el retroceso del sistema de inyección de plástico se debe usar el siguiente criterio.

Tabla II. **Estimación del retroceso del husillo**

Diámetro del husillo		Valor nominal del diámetro del husillo
<3 in	<76,2 mm	10 %
≥3 in	≥76,2 mm	5 %

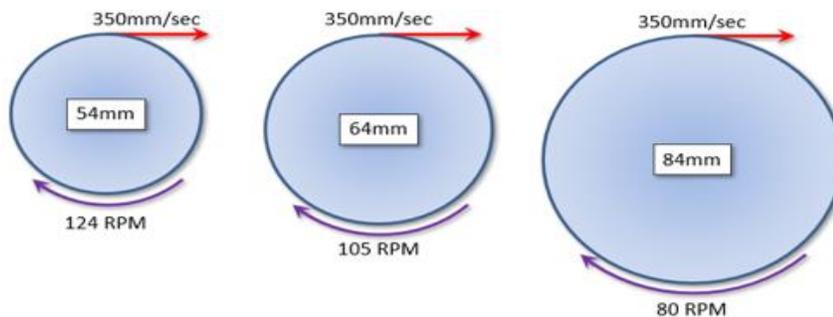
Fuente: PULIDO, José. *Posiciones en la inyección de plásticos*. capacitacionplastico.com.

Consulta: julio de 2021. p 30.

El retroceso del husillo, según la tabla 2, depende del diámetro del mismo.

La carga, también llamada plastificación es lo siguiente en la secuencia de inyección. La plastificación y fundición del plástico ocurre por el giro del husillo, que logra transportar el material sólido hacia adelante, compactarlo y fundirlo en su totalidad. Durante la carga, el husillo solamente ejecuta movimiento circular; experimenta un torque por acción del motor hidráulico el cual causa movimiento rotacional en el mismo. Las revoluciones por minuto óptimas las define el diámetro del husillo, como se ve en la siguiente figura.

Figura 11. **Configuración de la velocidad angular de husillos según su diámetro**



Fuente: NISSEI ASB MACHINE CO., LTD. *Nissei ASB Centroamérica proceso*. p 33.

Según la figura 11, para husillos con un diámetro de 84 mm, la velocidad angular máxima del husillo es de 80rpm, mientras que los husillos más pequeños experimentan mayores velocidades angulares. Estos valores aseguran una correcta plastificación de la resina sin riesgo de degradación por cizalla o adición de calor que se genera por la fricción entre los hilos de husillo y el cañón. El valor más importante es la velocidad lineal experimentada por un punto imaginario en la superficie exterior de un hilo del husillo.

La posición de dosificación es la posición en donde el husillo finaliza la carga y en donde iniciará la siguiente inyección. La posición de dosificación es:

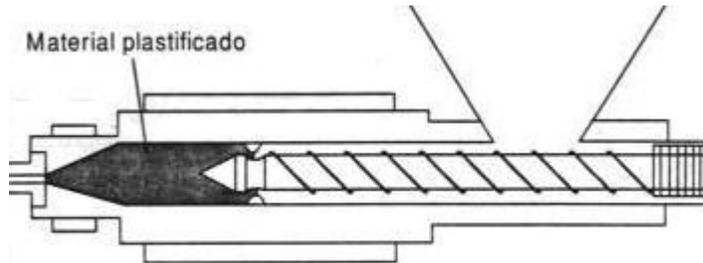
$$\text{Dosificación} = \text{cojín} + \text{tamaño de disparo} \quad (4)$$

Enfriamiento: el enfriamiento es la última etapa de la secuencia de inyección. Durante este período, lo más importante es que el tornillo se cargue de material, quedando listo para ser inyectado durante el próximo ciclo. Como el enfriamiento inicia en el mismo instante que termina la compactación e inicia la carga, debe ser suficientemente largo para permitir la recuperación del tornillo, si no el ciclo de la máquina dependerá del período real de carga. Ya que el período real de carga está sujeto a las variaciones de la temperatura y la viscosidad de material, esto conducirá a que el ciclo de la máquina sea inconsistente.

El temporizador de enfriamiento termina justamente después de que el tornillo de inyección se haya cargado por completo, de esta manera el tiempo de residencia del PET en el barril de enfriamiento será minimizado. También hay que tener en cuenta que la carga del tornillo demasiado rápida resultará en la degradación termo oxidativa del material por un tiempo de residencia más largo sin movimiento y la generación excesiva de ácidos acetaldehídos.

El cojín de inyección corresponde al volumen de plástico remanente encontrado entre el final del cañón de inyección y la punta del husillo cuando este termina de inyectar (figura 12). La finalidad del cojín de inyección es proporcionar el material necesario para compensar las contracciones del PET durante la etapa de compactación en la cual el husillo aun inyecta una cantidad pequeña de plástico fundido, y evitar que la punta del husillo golpee el cañón.

Figura 12. **Cojín de inyección**



Fuente: DSPACE. *Inyección de plásticos*. www.dspace.espol.edu.ec. Consulta: julio de 2021.

Un cojín muy grande produce tiempos más largos de residencia del material en el cañón y riesgo de degradación termo oxidativa, y un valor muy pequeño produce un sostenimiento y empaquetamiento ineficiente, teniendo como resultado hundimientos debido a las contracciones del PET y golpes entre el husillo y el cañón.

Para calcular el tamaño del cojín en términos del diámetro del husillo de la máquina se establece como regla que:

$$\text{Cojín} = 0,27 * \text{diámetro del husillo} \quad (5)$$

- Porcentaje de ocupación

El porcentaje de ocupación es una medida de la capacidad a la que está trabajando la máquina en términos de cantidad de plástico inyectado o carrera de inyección del husillo. Una regla establece que el porcentaje de ocupación debe estar entre 20 % y 80 % para obtener funcionamiento óptimo de la máquina. Si el % Oc. es mayor al 80 % el plástico recibe demasiado calor por fricción, el esfuerzo de corte es muy grande y se corre el riesgo de la degradación. Si el % Oc. es menor al 20 % El plástico no obtiene el calor suficiente por fricción y las características de la pieza plástica podría tener problemas de falta de peso, distribución de color, propiedades heterogéneas, entre otros.

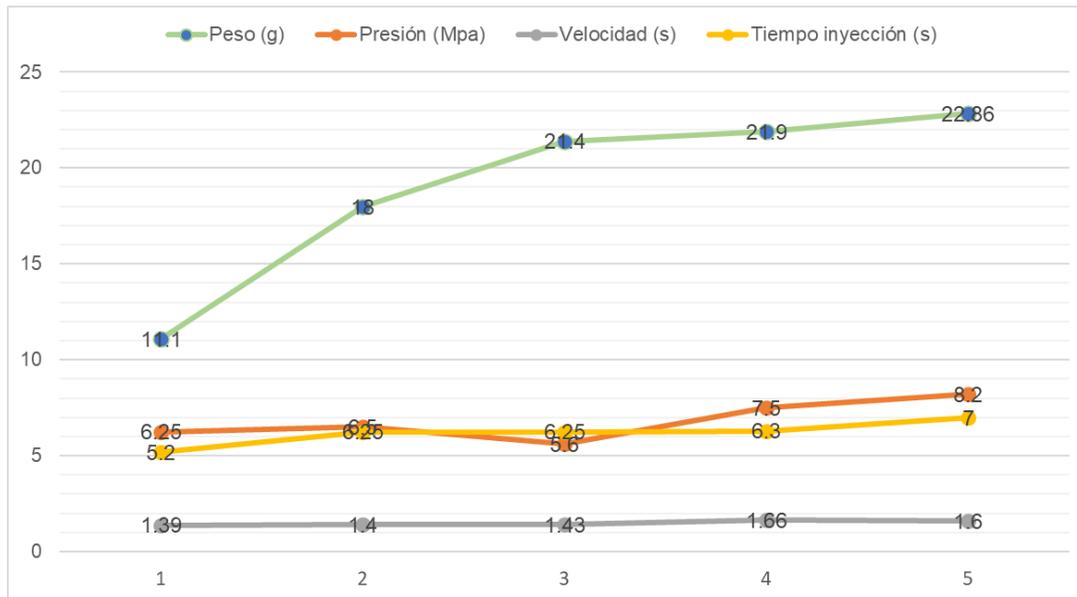
El % Oc es la relación entre la capacidad de la máquina y lo que inyecta funcionando para cierto producto, así:

$$\% Oc = \left(\frac{Td}{\text{desplazamiento máximo del husillo}} \right) * 100 \quad (6)$$

Todas estas posiciones se gradúan en la máquina manualmente, ajustando los sensores de posición de dosificación y del inicio de inyección utilizando la regla en la ventana de dichos sensores.

Como regla general, a medida que la masa de plástico fundido es mayor, la presión de inyección y el tiempo de inyección tienen a ser mayores, como se muestra en la figura 13.

Figura 13. Parámetros de inyección



Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

Los valores del tiempo, velocidad y presión de inyección también están influidos por el perfil térmico que el PET fundido pueda experimentar (sección 3.5).

La velocidad de inyección es un parámetro muy importante durante la inyección y depende en mayor magnitud de las características de la botella fabricada ya que velocidades de inyección altas tienen a endurecer el área cercana a la boquilla de la botella y velocidades bajas tienden a endurecer el área cercana al fondo de la misma. Una preforma de mayor masa demandará mayor presión del husillo para lograr inyectar esa cantidad de plástico a una velocidad deseada durante todo el recorrido del tamaño de disparo del mismo.

El tiempo de inyección depende mucho del espesor de pared de la preforma que se esté inyectado; el tiempo total de inyección modifica el tiempo en que la preforma se mantiene presurizada en el molde de inyección experimentando una

transferencia de calor hacia el fluido refrigerante y por lo tanto la formación de cristales y la temperatura de salida de la preforma del molde.

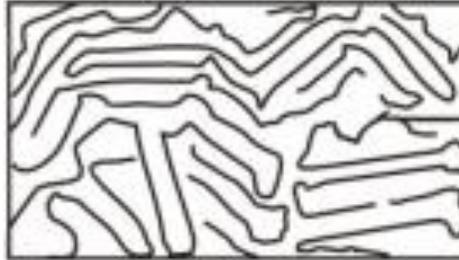
Como regla general, a mayor espesor de pared, mayor tiempo de inyección será necesario, pero esto trae complicaciones al momento del estirado ya que un tiempo de inyección alto supone más tiempo bajo acción de la refrigeración del molde de inyección, y si la preforma experimenta un gradiente térmico muy alto antes de ser soplada los espesores de pared de la botella no serán regulares y las propiedades mecánicas y de barrera se verán afectadas de forma localizada.

2.4. Estados del PET y sus transformaciones

Dependiendo de las condiciones térmicas y de procesamiento a que es sometido el PET, puede existir tanto como un material amorfo o semicristalino por lo que se le puede encontrar en presentación de pellet generalmente blanco o transparente, dependiendo del contenido de su región amorfa o cristalina, considerándosele como un material intermedio o cristalizable. Cuando se habla de un PET cristalino se comprende un material opaco o bien al hablar de un PET amorfo se trata de un material transparente y relativamente menos rígido o bien más flexible. El PET tiene niveles de cristalinidad típicos de 0 a 60 % en peso.

Durante el proceso de fundido del PET, inyección de preformas y estirado biaxial, el PET sufre estas transformaciones a nivel molecular que proporcionan las propiedades físicas y mecánicas del producto final. El estado del pellet o resina virgen de PET es cristalino, en el sólido cristalino el PET presenta sus cadenas moleculares en una forma semiordenada y definida.

Figura 14. **Ordenamiento de las moléculas en estado sólido cristalino del PET**



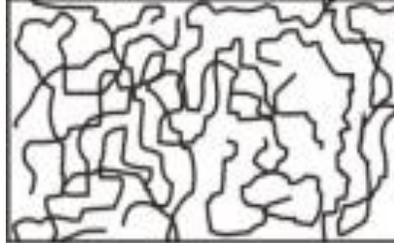
Fuente: NISSEI ASB MACHINE CO., LTD. *Curso de capacitación ASB*. p 18.

La figura 14 muestra una representación gráfica del ordenamiento de las cadenas moleculares del PET en el estado cristalino. En este estado, el PET tiene la forma de una especie de cilindro de aproximadamente un milímetro de diámetro por un milímetro de altura, de color blanco y estado totalmente sólido.

La cristalinidad y por consecuencia las propiedades físicas y mecánicas del PET se ven afectados considerablemente por las condiciones de proceso como son, perfil de temperaturas de proceso, relación de soplado preforma/envase, velocidad de enfriamiento.

La cristalinidad es un factor de gran importancia que influye durante las diferentes etapas del procesamiento. El grado de cristalinidad de los polímeros dependerá tanto de factores propios o intrínsecos de la resina como son el peso molecular, la estructura de la cadena, es decir si es lineal o ramificada; así como de las condiciones proceso. Las preformas inyectadas y enfriadas parcialmente se encuentran en estado amorfo, el sólido amorfo presenta sus cadenas moleculares en forma desordenada, de manera tal que carece de una forma definida.

Figura 15. **Representación gráfica de las cadenas moleculares del PET en estado amorfo**



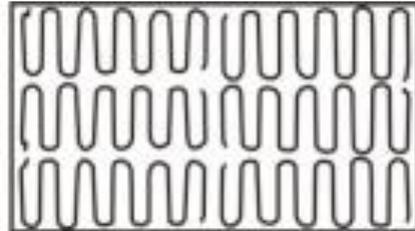
Fuente: NISSEI ASB MACHINE CO., LTD. *Curso de capacitación ASB.* p 17.

La figura 15 muestra una imagen ilustrativa del ordenamiento de las cadenas moleculares del PET en estado amorfo, el estado de las preformas que están en su temperatura de transición vítrea y listas para someterse al estirado biaxial.

En este estado el PET tiene una apariencia transparente, es sólido y maleable y tiene la forma del recipiente en el que fue inyectado, en este caso el molde de inyección de la preforma.

Las botellas PET fabricadas se encuentran en estado bioorientado o semicristalino. En el sólido bioorientado, el PET presenta sus cadenas moleculares ordenadas y alineadas para lograr propiedades mecánicas y de barrera con una optimización de espesores de pared del producto final.

Figura 16. **Representación gráfica de las cadenas moleculares del PET en estado bioorientado**



Fuente: NISSEI ASB MACHINE CO., LTD. *Curso de capacitación ASB*. p 19.

La figura 16 muestra el ordenamiento de las cadenas moleculares del PET luego de terminado su procesamiento. La botella fabricada presenta cadenas de polímeros ordenadas, se encuentra en estado sólido y es transparente siempre que no se apliquen colorantes. Si el secado es correcto, este ordenamiento se cumple y las propiedades mecánicas, estéticas y de barrera del PET serán muy buenas y asegurarán la calidad satisfactoria de las botellas.

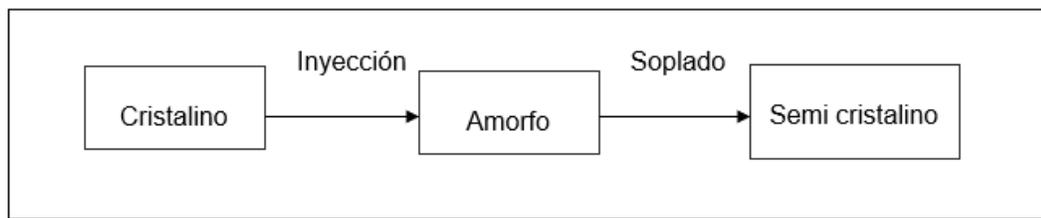
El estado semi cristalino obtenido a partir de las preformas es una forma de cristalización llamada cristalización inducida por tensión. Existen dos rutas para la cristalización del PET.

- **Cristalización térmica:** ocurre cuando el polímero se calienta arriba de la transición vítrea sin enfriar lo suficientemente rápido, por lo que el PET se torna opaco y blanco debido al crecimiento de cristales a un tamaño suficientemente grande para interferir con el paso de la luz, tal cómo sería el caso de los pellets de la resina.

- **Cristalización inducida por tensión:** sucede cuando el polímero caliente es estirado u orientado bajo condiciones adecuadas de temperatura, relación de soplado y velocidad de estirado, causando en el polímero un reordenamiento de las cadenas de tal manera que los tamaños de los cristales permanecen suficientemente pequeños para permitir una transparencia óptica, tal caso sucede durante el estirado biaxial en la estación de soplado de la máquina.

A medida que se cumplen los sub procesos del procesamiento del PET este va cambiando de estado como en la siguiente figura.

Figura 17. **Orden de las transformaciones moleculares del PET en el procesamiento**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2019.

Antes del secado el PET es una resina virgen en estado cristalino que puede ser secado sin el riesgo a que forme grumos y se adhiera a las superficies del aparato secador, de apariencia opaca y blanca. Al ser fundido e inyectado correctamente en un molde de inyección, los polímeros se reordenan y adquiere el estado amorfo el cual tiene una apariencia transparente por la ausencia de cristales.

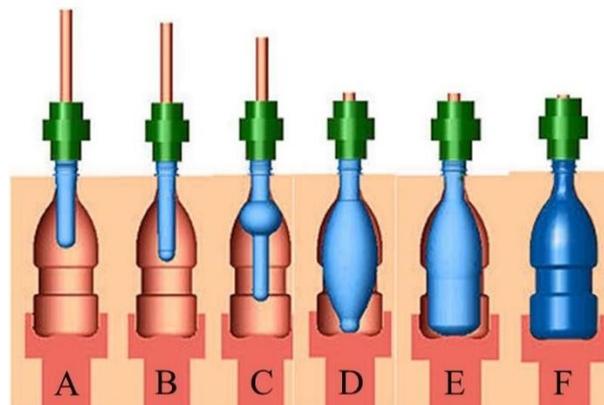
Durante el moldeo por soplado de biorientación las cadenas de moléculas del PET se ordenan en un estado semi cristalino el cual proporciona las características mecánicas y de barrera a la botella fabricada.

2.5. Soplado por biorientación

El soplado es el último paso de termoformado del procesamiento del PET para la fabricación de botellas, es donde el material cambia de estado y toma la forma de la botella final por medio de un estirado biaxial que sufren las preformas dentro de un molde de aluminio.

El soplado por biorientación se refiere a que la preforma sufrirá un estirado en dos direcciones: en dirección axial y en dirección radial.

Figura 18. **Representación gráfica del soplado por orientación biaxial de una preforma**



Fuente: M., & Perfil, V. T. M. *Inyección soplada*.

<https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2012/03/inyeccion-soplado.html>. Consulta: agosto de 2021.

La figura 18 representa los diferentes instantes del estirado biaxial de una preforma que se encuentra en estado de transición vítrea para formar el producto final. En el instante A la preforma ingresa dentro del molde de soplado que contiene la geometría del producto final, en este instante la preforma está iniciando la etapa de soplado, las válvulas y actuadores hidráulicos ejecutan el cierre del molde de soplado y las varillas de estirado ingresan en el espacio interior de la preforma haciendo contacto únicamente en el fondo de la misma.

En el instante B, luego de terminar el cierre del molde de soplado, el actuador neumático de las varillas de estirado es accionado por medio de la electroválvula y estas comienzan a descender, estirando linealmente la preforma; esto es el comienzo del estirado axial. El instante C, muestra el comienzo del estirado radial; al terminar el cierre del molde de soplado, el temporizador de soplado comienza a correr, este indica el tiempo en que tardará el soplado primario que, como su nombre lo indica, actuará en primer lugar sobre la preforma.

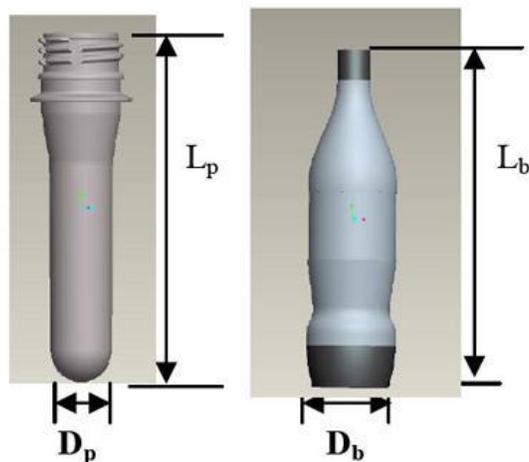
El instante D, de la figura 16 muestra el fin del estirado axial en el que las varillas de estirado han terminado su carrera y en este instante aún está actuando el soplado primario. En el instante E, de la figura 16 el soplado primario ha llegado a su fin, ha formado el 90 % de la forma de la botella faltando los ángulos, radios y detalles más pronunciados por formar y en el instante F el soplado secundario está actuando sobre la pared del plástico ya estirado para formar el 10 % restante de la geometría de la botella.

Como regla general el soplado primario actúa a una presión menor que el soplado secundario. El soplado primario actúa a una presión máxima de 200 Psi y el soplado secundario actúa a un máximo de 450 Psi. Estos datos dependen mucho de:

- La complejidad en la forma de la botella.
- La cantidad y la capacidad de las botellas que se estén fabricando.
- La fuerza de cierre del molde de soplado de la máquina.
- El perfil térmico de la preforma.

Para todas las botellas las condiciones de la preforma deben ser distintas. Algunas en donde el estirado no es tan pronunciado o la capacidad de la botella es un valor pequeño (aproximadamente unos 30 mL) el consumo de aire es menor y la presión utilizada puede ser alta. Para botellas con relaciones de estirado elevadas y capacidades altas (200 mL o más) el consumo de aire es mayor y la presión de aire de soplado debe estar limitada en función de la fuerza de cierre del molde de soplado evitando así aperturas del mismo debido a la alta presión. La relación de estirado de la preforma se refiere al estirado que la preforma sufre respecto a sus características iniciales.

Figura 19. **Estirado axial y radial de la preforma**



Fuente: MASOOD S.H. y ERBULUT D.U. *Optimización de las propiedades de barrera mediante simulación*. www.plastico.com/temas/Optimizacion-de-las-propiedades-de-barrera-mediante-simulacion+3068367?pagina=4. Consulta: agosto de 2021.

La figura 19 muestra las longitudes de la preforma y de la botella ya soplada, las cuales difieren de acuerdo con la relación de estirado axial o radial.

La relación de estirado axial establece que la longitud inicial de la preforma L_p aumenta un máximo de 1,5 veces su longitud:

$$L_b = 1,5 L_p \quad (6)$$

Donde L_b es la longitud de la botella. Esta relación de estirado favorece el moldeo por soplado de la botella por medio de una restricción en el estirado axial evitando tensiones excesivas en la botella a medida que forma la botella.

La relación de estirado radial establece que el diámetro inicial exterior de la preforma D_p aumentara un máximo de 4 veces su radio hasta formar el radio de la botella D_b , de este modo:

$$D_b = 4 D_p \quad (7)$$

El perfil térmico de la preforma en el procesamiento del PET en una soplada etapa afecta muy directamente al estirado biaxial de la preforma y este depende en gran parte de los parámetros de procesamiento y de la refrigeración del molde de inyección; por lo que, cumplir con las relaciones de estirado supone una herramienta muy útil en la fabricación de botellas PET.

Si la preforma sufre un estirado axial muy elevado se corre el riesgo de que no se optimicen las propiedades mecánicas y de barrera de la botella debido a que la distribución de plástico en las paredes de la misma será irregular y se hará necesario un gradiente térmico en la preforma muy bajo, lo que se complica partiendo de que el perfil térmico depende de la misma máquina, de los equipos

periféricos de refrigeración de moldes y de todas las propiedades de las piezas de fabricación de moldes de inyección como: conductividad térmica del material utilizado, diseño y acabados.

3. MÁQUINA DE INYECCIÓN CON SOPLADO DE ORIENTACIÓN BIAxIAL

3.1. Introducción

El procesamiento de botellas PET en la máquina de inyección de preformas con soplado de biorientación es ejecutado en una etapa, la materia prima sufre todas las transformaciones necesarias para fabricar la botella final, esto ocasiona que sea necesaria mucha sincronización de los sistemas de la máquina y estabilización de temperaturas de moldes, zonas de calentamiento, zonas de fundición y zonas de enfriamiento.

La máquina Nissei ASB V2 cuenta con un sistema neumático e hidráulico, además del sistema eléctrico y electrónico, para ejecutar todos los movimientos mecánicos de las piezas encargadas de juntarse y formar la geometría de la botella final.

La incorporación de los sistemas es la que permite fabricar las botellas PET en una sola etapa, es decir, transformar la materia prima en una botella con una sola máquina. Existen máquinas sopladoras que se alimentan con preformas previamente inyectadas y totalmente enfriadas, esto significa que la fabricación de las botellas se ejecuta en dos etapas, la materia prima se convierte en preformas con un equipo, luego se almacenan y se utilizan para alimentar otra máquina que ejecuta el soplado de la botella PET.

- Especificaciones

Las especificaciones técnicas de máquina son valores esenciales para un correcto procesamiento del plástico. Si bien no dan un listado de los parámetros necesarios para ejecutar una inyección y soplado correctos, determinan las condiciones en las que la máquina trabajará de manera óptima, estableciendo la primera línea para el control de la producción eficiente y calidad satisfactoria.

Las especificaciones técnicas de cada sistema o estación se enlistan en la siguiente tabla.

Tabla III. **Especificaciones técnicas de la máquina**

ITEM	VALOR
Unidad de inyección	
Diámetro del husillo	38 – 44 mm
Capacidad de inyección	113 – 152 cm ³
Presión máxima de inyección	128 – 95 Mpa
Taza de inyección	114 – 154 cm ³ /s
Carrera del husillo	100 mm
Velocidad angular del husillo	10 – 180 rpm
Unidad de mesa rotativa	
Fuerza de cierre de molde superior	60 KN
Fuerza de cierre de molde inferior	60 KN
Carrera de cierre de molde superior	250 mm
Carrera de cierre de molde inferior	200 mm
Unidad de acondicionamiento	
Carrera del núcleo de acondicionamiento	270 mm
Carrera de cuba de acondicionamiento	170 mm
Estación de soplado y cierre de molde de soplado	
Fuerza de cierre de molde de soplado	78 KN
Carrera del molde de soplado	140 mm
Fuerza de estirado	1,91 KN
Carrera de estirado	200 mm
Fuerza de cierre del núcleo de soplado	7,60 KN
Carrera del núcleo de soplado	250 mm

Continuación de la tabla III.

Sistema hidráulico	
Presión de sistema	13,7 Mpa
Capacidad del tanque	250 L
Tipo de bomba	Doble paleta de desplazamiento fijo
Operación de las válvulas	24 VDC
Circuito neumático	
Presión de aire de operación	0,97 Mpa
Consumo de aire de operación	385 L/min
Operación de las válvulas	24 VDC
Circuito de soplado	
Presión de aire de soplado	2,45 Mpa
Consumo de aire de soplado	450 L/min
Operación de las válvulas	24 VDC
Sistema eléctrico	
Voltaje de alimentación	440 – 460 VAC
Voltaje de circuito de control	100 V AC/DC 24 V
Bomba hidráulica y servo motor	7 Kw
Controles de temperatura	
Zonas de máquina	4
Zonas de molde	11
Circuitos de agua de refrigeración	
Flujo de agua de torre de refrigeración	55 L/min
Presión de agua de torre de refrigeración	0,29 – 0,59 Mpa
Flujo de agua de refrigeración de molde	40 L/min
Presión de agua de refrigeración de molde	0,29 – 0,59 Mpa
Temperatura de agua de refrigeración de molde	10 – 15 °C
Maquina: tamaño y peso	
Dimensiones	3 750 x 1 130 x 2 730 mm
Peso	2,9 t

Fuente: NISSEI ASB MACHINE CO, LTD. *Manual de operación*. p 10.

3.2. Sistema hidráulico

El sistema hidráulico de la máquina Nissei ASB V2 es el encargado de los movimientos de toda la unidad de inyección y de la unidad de mesa rotativa. Estos movimientos requieren de gran fuerza de cierre de moldes en el caso de la unidad de mesa rotativa y de presión hidráulica en el caso de la unidad de inyección.

La presión del sistema hidráulico la produce una bomba de doble paleta de desplazamiento fijo. La presión normal de operación del sistema es de 13,7 Mpa (2 000 Psi aproximadamente).

El sistema hidráulico logra ejecutar los movimientos en las unidades de inyección y de mesa rotativa gracias a la configuración de las válvulas en el circuito hidráulico.

La unidad de la mesa rotativa de preformas es el mecanismo que permite el transporte de las preformas recién inyectadas a la siguiente etapa, dejando el espacio anterior vacío luego de la expulsión de envases para inyectar nuevas preformas y hacer el ciclo continuo ejecutando movimientos recíprocos verticales para inyectar o transportar.

En la figura 2, el giro del sistema de mesa rotativa es de 90° en cada cambio de ciclo de la máquina, el buen funcionamiento del sistema hidráulico es esencial para el cambio de estación de las preformas ya que, si la fuerza de cierre requerida no es suficiente, el plástico fundido ingresará donde no es necesario y causará rebabas en ciertas áreas donde el sellado de las piezas será insuficiente.

La temperatura máxima a la que el aceite debe encontrarse para el funcionamiento óptimo del sistema hidráulico es de 45 °C, a temperaturas más altas que este valor el aceite hidráulico comienza un proceso de degradación y su viscosidad no es la correcta para el funcionamiento de los cilindros, afectando directamente la fuerza que estos ejercen por la deficiente transmisión de presión y como consecuencia el moldeo de las preformas inyectadas.

El sistema hidráulico mantiene el aceite a su temperatura de operación por medio un intercambiador de calor por agua para sistemas hidráulicos (sección 3,9: mantenimiento e inspección) el cual mantiene esta temperatura de operación.

En dicho equipo una entrada y una salida de agua permiten en flujo de la misma, así como una entrada y una salida del aceite permiten el flujo de aceite. El agua corre entre los tubos interiores normalmente fabricados de cobre mientras que el aceite viaja alrededor de estos.

La temperatura del aceite es importante para evitar: la degradación del mismo, daño en las empaquetaduras de los pistones actuadores, diferencias en las presiones de actuadores debido al cambio en la viscosidad del aceite mediante el cambio en su temperatura y este último efecto afecta directamente el moldeo por inyección.

Los cuidados más importantes para la conservación del sistema hidráulico son los siguientes:

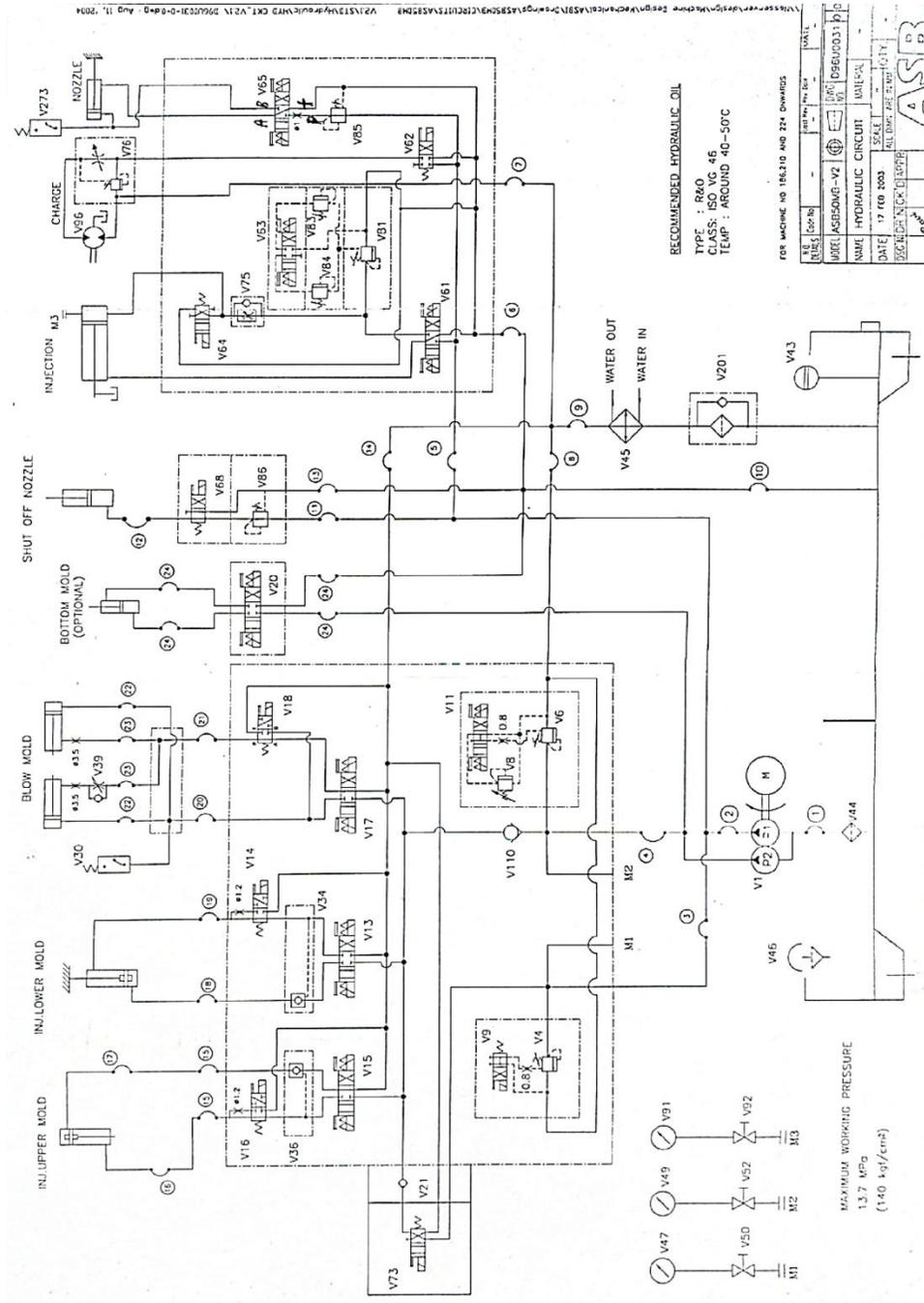
- Precalentamiento del aceite hidráulico trabajando la máquina en ciclo seco, es decir, ejecutando solamente movimientos mecánicos que no involucren

ningún proceso de moldeo de la botella con el fin de utilizar el aceite a su temperatura normal de operación.

- Niveles de aceite correctos.
- Medición y ajuste de presiones periódicamente para evitar sobrepresiones o baja presión de sistema.
- Lubricación de las barras de la máquina, reduciendo el desgaste en los bujes.
- Eliminación de fugas de aceite.
- Control de la temperatura de aceite.
- Cambio de repuestos (sellos hidráulicos, mangueras, bujes) periódicamente.

Es necesario un esmerado conocimiento del sistema hidráulico con el fin de determinar los actuadores involucrados en cada movimiento de la máquina, esto permite identificar posibles causas de fallas en ciertos elementos del sistema o calibraciones erróneas del mismo. El diagrama hidráulico aporta la información necesaria para el abordaje correcto de cualquier inconveniente de cualquier naturaleza del sistema hidráulico.

Figura 20. Diagrama hidráulico



Fuente: NISSEI ASB MACHINE CO., LTD. Manual de operación. p 124.

- Los elementos de operación más importantes del diagrama hidráulico son:
 - La válvula V-4 para el ajuste de la bomba hidráulica: el procedimiento de ajuste de la presión de la bomba hidráulica se detalla en la sección 3.9.
 - Válvula V-81 del ajuste de presión de inyección: esta válvula permite ajustar la presión máxima de inyección según los requerimientos de la inyección de cada producto. Esta presión puede ser graduada hasta un máximo de 13,7 Mpa visualizando este valor en el manómetro V91 de la figura 21.
 - Válvula V-75 la velocidad de inyección: esta válvula permite graduar la velocidad de la inyección según los requerimientos de moldeo de productos.
 - Válvula V-83 de presión de sostenimiento de inyección: esta válvula permite graduar la presión de sostenimiento de inyección.
 - Válvula V84 de contrapresión del husillo: esta válvula permite graduar la presión de contrapresión del husillo y repercute directamente en el tiempo de carga del mismo.

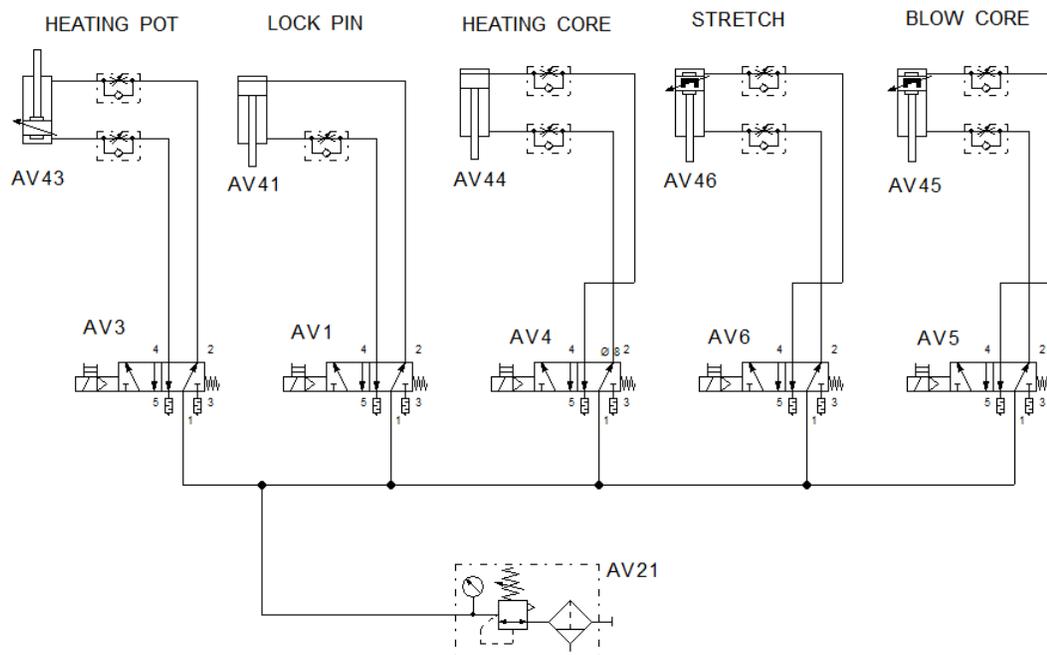
- Sistema neumático

El 40 % de todos los movimientos de la máquina es por medio de actuadores neumáticos. El sistema suministro de aire de operación debe tener una presión de 0,97 Mpa (140 Psi) para un correcto funcionamiento de los cilindros. Este

sistema consume un 385 L/min de aire para ejecutar los siguientes movimientos que se aprecian en la figura 21:

- Resistencias de acondicionamiento.
- Pin de bloqueo de la mesa rotativa.
- Molde de acondicionamiento.
- Estirado axial de la preforma.
- Núcleo de soplado.

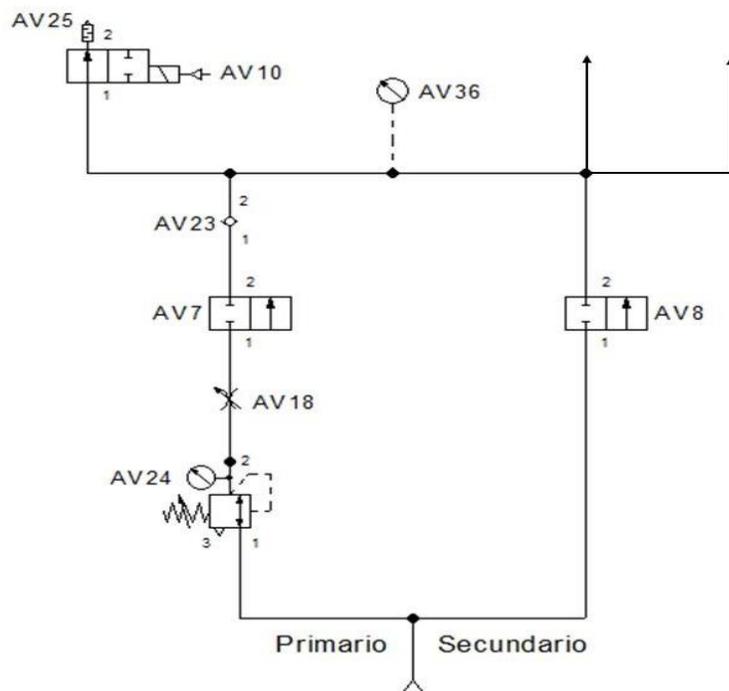
Figura 21. **Circuito neumático de aire de operación**



Fuente: NISSEI ASB MACHINE CO., LTD. *Manual de operación*. p 122.

Cada cilindro cuenta con reguladores de flujo con antirretorno que permiten graduar la velocidad de actuación individualmente dependiendo qué acción ejecuten y la necesidad de las carreras rápidas o lentas. Cada actuador ejecuta una acción diferente y dependiendo de la estación a la que pertenezca debe ajustarse el caudal de aire que ingresa en los cilindros a conveniencia del ciclo de la máquina y de la calidad de las botellas, por ejemplo, el estirado axial de las botellas ejecutado por las varillas de estirado debe tener el caudal máximo de aire para otorgar al estirado una velocidad correcta. El estirado radial o soplado de las preformas se logra en el circuito de soplado de alta presión en donde las dos vías: soplado primario y secundario, actúan en la estación de soplado donde la preforma adquiere la forma de la botella.

Figura 22. **Circuito de soplado primario y secundario**



Fuente: NISSEI ASB MACHINE CO., LTD. *Manual de operación*. p 123.

La figura 22 muestra las dos vías en donde el aire a alta presión viaja para actuar sobre la preforma en el instante del soplado primario y el del soplado secundario.

Según el circuito de la figura 25, la línea de soplado primario tiene un regulador de presión AV24 para que éste actúe sobre la preforma a la presión regulada. La válvula AV10 del diagrama neumático es la válvula de escape del aire de soplado que al terminar el moldeo por soplado de la botella actúa. Por vía de escape está instalado el silenciador AV25 que debe ser capaz de resistir la presión de 450 Psi máximo (3,0M Pa) del suministro de aire de alta presión.

3.3. Secador de resina

El secador de resina es el equipo más importante en el proceso para el procesamiento del PET. Es el encargado de extraer la humedad del PET para poder fundirlo, inyectar preformas y soplar las mismas, evitando la degradación hidrolítica del mismo dentro del cañón de inyección.

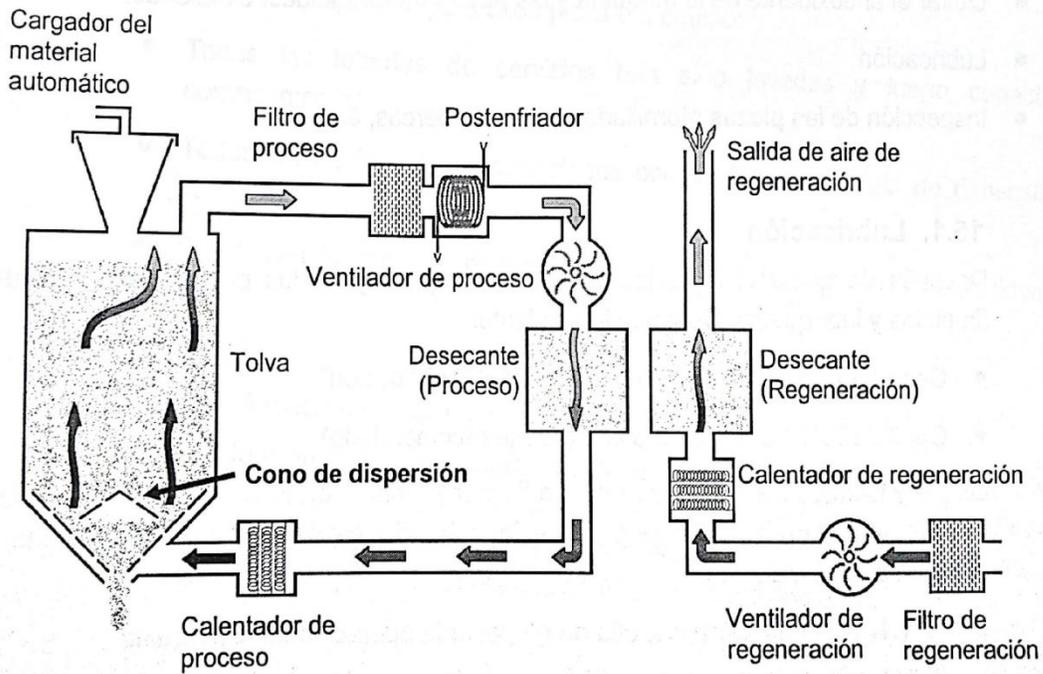
Componentes del secador: torre desecante la malla molecular desecante que atrapa la humedad del aire.

- Sopladores: ventiladores que generan un flujo de aire para el secado y la regeneración de del proceso.
- Resistencias calentadoras: proporcionan el calor necesario al aire para evaporar el agua en el PET y en la torre desecante.
- Filtros: remueven finos y polvo en el aire de proceso, previniendo las fallas en el secado correcto del PET.

- Postenfriador: enfría el aire húmedo de retorno para optimizar la temperatura de absorción del sistema desecante.
- Tolva: contenedor de materia prima donde se ejecuta el proceso de secado que permite un flujo de aire hacia los pellets de manera uniforme, mediante el uso de una base cónica.

Un diagrama del funcionamiento del secador de resina PET se muestra en la figura 26.

Figura 23. Diagrama de funcionamiento del sector de resina de PET



Fuente: NISSEI ASB MACHINE CO., LTD. *Manual de operación*. p 75.

La figura 23 muestra un diagrama del circuito de aire que extrae la humedad del PET, el cual se interpreta de la siguiente manera:

En primera instancia, hay dos circuitos llamados circuito de proceso (izquierdo) y circuito de regeneración (derecha).

En el circuito de proceso, el soplador, llamado también bomba o ventilador de proceso, agrega energía cinética al aire que circula en él, el aire atraviesa una resistencia incrementando su temperatura, el aire ahora caliente atraviesa la tolva de materia prima. El flujo de aire caliente fuerza la humedad del PET desde sus moléculas hasta la superficie de los pellets del mismo y lo lleva consigo al salir de la tolva.

El aire ahora caliente y húmedo (de la humedad recogida del PET) pasa a través de un filtro de proceso para eliminar polvo, finos y otras partículas extrañas, posterior a eso el postenfriador disminuye su temperatura, esto con el propósito de ingresar el flujo de aire a la torre desecante de proceso a temperatura moderada para no dañarla, y optimizar la absorción de humedad.

El circuito de regeneración trabaja de manera simultánea al circuito de proceso, el fin de este circuito es preparar la segunda torre desecante para absorber la humedad del aire de proceso.

La bomba de regeneración está impulsando aire ya filtrado por la resistencia de regeneración para añadir calor y circularlo a través de otra torre desecante por un período de tiempo corto, esto para extraer toda la humedad que la torre desecante ha acumulado del aire de proceso que circula en ella para ser utilizada después por el circuito de proceso.

La saturación máxima del PET es de 0,4 % en peso de humedad. El proceso de secado disminuye ese valor al 0,005 % para poder ser procesado correctamente. Para lograr un buen secado.

Los cuatro factores utilizados para el buen secado del PET son:

- Flujo de aire
- Temperatura de proceso
- Punto de rocío
- Tiempo de residencia

Se utilizan diferentes combinaciones de parámetros para lograr el objetivo importante del secado de extraer la humedad del material. El flujo de aire se encuentra en un promedio de 0,063 m³ por Kg/h. El flujo de aire es el más importante de los factores de soplado ya que transporta la energía térmica que permite transportar la humedad vaporizada hacia la torre desecante.

La temperatura de proceso puede variar de los 140 °C a los 180 °C dependiendo del consumo de material en la tolva, lo cual arroja un valor de en Kg/h que a su vez dependen de la capacidad de la tolva y las características físicas de la botella cuyo molde se instale en la máquina, como: número de cavidades, peso de cada preforma y ciclo de la máquina. El tiempo de secado del PET es de por lo menos 4 horas.

Los efectos de un secado incompleto son: presencia de humedad al ingresar al barril o cañón de inyección, causando la degradación hidrolítica del

PET, esto es, rompiendo las cadenas de moléculas del PET teniendo una caída en la viscosidad intrínseca IV que ocasiona problemas en propiedades físicas, mecánicas y estéticas de la botella final.

Por otro lado, un sobre secado, es decir un tiempo de residencia muy alto a temperatura muy elevada produce la degradación termo oxidativa del PET, lo cual también afecta la IV del material.

La configuración del secador dependerá directamente del molde instalado y de los parámetros de trabajo de la máquina, dichos parámetros permiten encontrar un secado óptimo evitando la degradación del PET para varios productos.

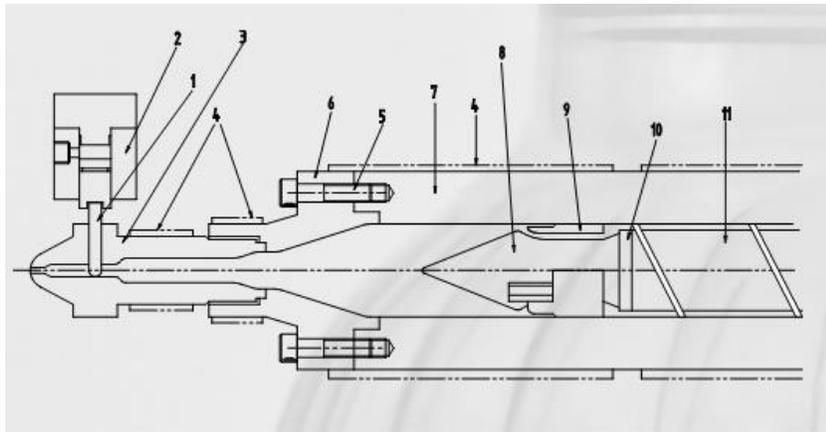
3.4. Etapa de inyección

Luego del secado de la resina PET en estado cristalino, ocurre su fundición dentro de la unidad de inyección de la máquina de inyección de preformas con soplado de orientación biaxial. El PET entonces fundido, a una temperatura mayor a su temperatura de fusión, tiene propiedades parecidas a las de un líquido, carece de una forma determinada, tomará la forma del recipiente en donde se deposite, el molde de inyección.

La inyección de las preformas PET consiste en llenar el espacio que corresponde al molde de inyección, el cual tiene la forma de la preforma, haciendo que el material fluya en el mismo por medio de una presión hidráulica que un pistón ejecuta sobre el tornillo de inyección y aplicar un enfriamiento rápido para causar el cambio de fase y llevar al PET a un estado de transición vítrea el cual es el ideal para ejecutar un eficaz estirado biaxial de la preforma por encontrarse en un estado elástico.

La unidad de inyección se compone del cañón de inyección y el tornillo de inyección.

Figura 24. **Representación gráfica de la unidad de inyección**



Fuente: NISSEI ASB MACHINE CO., LTD. *Curso de capacitación ASB*. p 39.

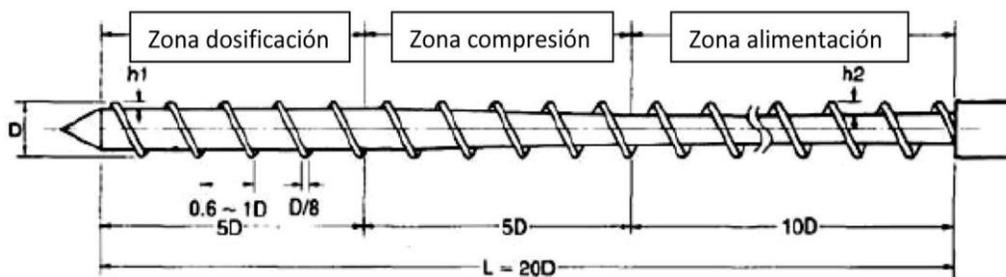
La figura 24 muestra un diagrama de la unidad de inyección de una máquina de inyección de preformas con soplado de orientación biaxial. La pieza más importante de esta unidad es el tornillo de inyección (#11) este es el encargado de introducir el material dentro del barril o cañón de inyección, que es la carcasa donde actúa el tornillo, comprimirlo, e inyectarlo.

La inyección del plástico se logra cuando el tornillo se mueve de forma horizontal por acción de un cilindro hidráulico hacia un canal caliente en donde el plástico fundido circulará antes de llegar al molde de inyección, adquiriendo la forma de la preforma.

Al finalizar el llenado de la cavidad por medio de la inyección, material nuevo se introduce en el cañón de inyección por medio del giro del husillo (#8 figura 13)

el cual es ejecutado por un motor hidráulico instalado en la parte posterior de la unidad de inyección y acoplado al husillo. El diseño del husillo permite fundir el PET gradualmente en tres zonas que reciben diferente nombre y cuya diferencia radica en la relación entre el diámetro de los hilos y de la raíz del husillo según el diseño de fabricación del mismo. La fundición del PET se logra en la llamada zona de dosificación del tornillo de inyección.

Figura 25. **Zonas del tornillo de inyección**



D= diámetro del husillo

L= Longitud efectiva del husillo ... Compresión ratio h_2/h_1

Fuente: LERMA, José Ramón. *El mecanismo del husillo*.

www.interempresas.net/Plastico/Articulos/159596-El-mecanismo-del-husillo.html. Consulta: agosto de 2021.

La figura 25 muestra la representación gráfica del diseño de un tornillo de inyección o husillo y sus tres zonas.

- Zona de alimentación

Es la zona trasera del tornillo, es en donde el material en estado sólido, en forma de pellets, ya secado, ingresa al cañón de inyección. La principal función de esta sección es transportar sólidos. La teoría básica de transporte de sólidos

determina que el plástico debe adherirse al barril y deslizar sobre el tornillo, de tal forma que el polímero se desplace hacia delante. Para que esto ocurra el coeficiente de fricción del polímero debe ser superior en la pared del barril que en la raíz del tornillo.

Normalmente, para la mayor parte de resinas una sección de alimentación con una longitud de cuatro o cinco diámetros (figura 14) medidos desde la garganta de alimentación, hará posible alcanzar suficiente presión para transportar el material hacia delante.

- Zona de compresión o transición

La zona de compresión es la zona media del tornillo, es donde tiene lugar la mayor parte de la fusión del polímero. Esta es la porción del tornillo que trasciende desde la profundidad de alimentación hasta la profundidad de dosificación, y es donde se efectúa trabajo sobre la resina, haciendo que se produzca la fusión. En esta sección del tornillo, la raíz se vuelve gradualmente menos profunda, forzando al material hacia delante de la pared del barril, donde la fusión se lleva a cabo.

El factor más importante en el diseño de la sección de transición, es que la pendiente de esta zona se ajusta tan cercanamente como sea posible a la tasa de fusión del material con el fin de maximizar el flujo másico a la salida del extrusor, y para reducir la cantidad de abrasión que se va a producir al barril y al tornillo.

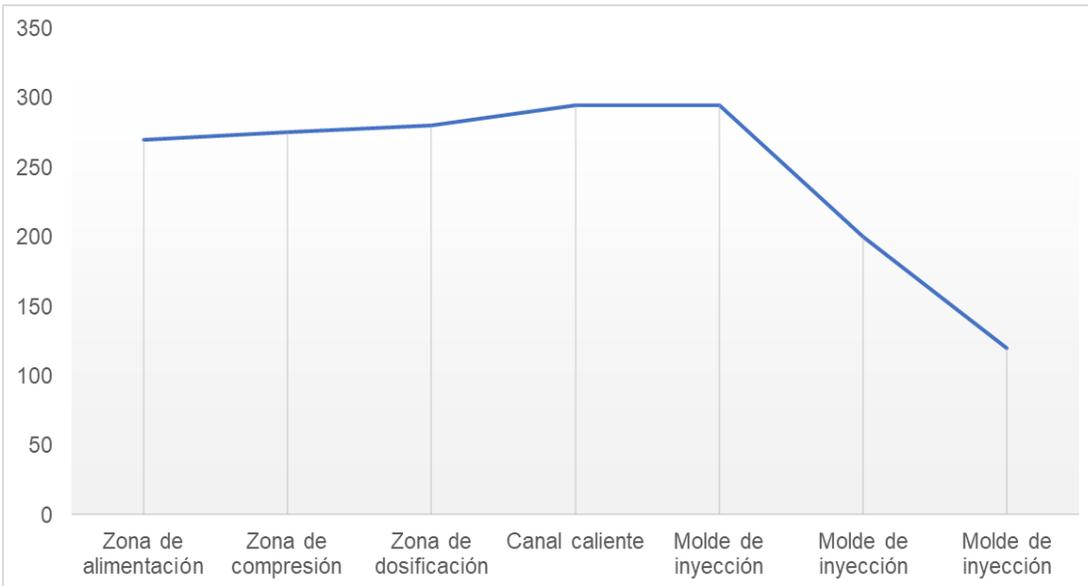
- Zona de dosificación

La sección de dosificación o bombeo en el tornillo es donde se completa la fusión del polímero, y donde se genera presión para superar la restricción impuesta por el molde de inyección. Esta zona dosifica la masa de PET fundido durante la inyección.

Los calefactores o resistencias del cañón de la máquina aportan el calor necesario para que el tornillo pueda fundir el material. La cantidad de energía térmica necesaria en cada zona del tornillo tiene que ser distinta para que se cumplan las condiciones requeridas de cada una de ellas. La zona de alimentación es la zona que requiere menos calor que las dos zonas posteriores y el canal caliente. El canal caliente requiere 10 °C o 15 °C por encima de las zonas del tornillo debido a la ausencia de calor por fricción generado por los movimientos angulares y rectilíneos del husillo durante la carga e inyección respectivamente. La configuración de las temperaturas en las zonas del cañón de la máquina y el canal caliente se conoce como perfil de térmico del plástico fundido.

El perfil de térmico (figura 27) obedece una tendencia ascendente a medida que el PET avanza por el cañón de inyección, el canal caliente y el molde de inyección en donde experimenta una caída rápida de temperaturas hasta llegar a su temperatura de transición vítrea que se encuentra entre 70 y 120 °C.

Figura 26. **Perfil térmico del configurado durante la plastificación e inyección**



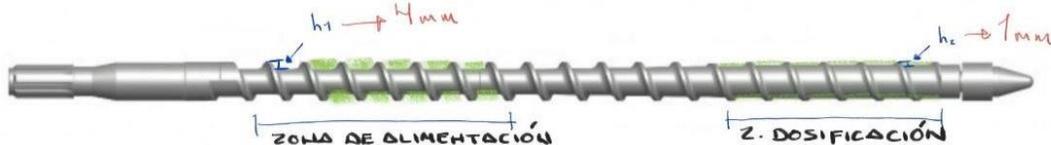
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

En la figura 29 se observa en el eje vertical los valores de temperatura configurados en la máquina según la zona de plastificación que muestra el eje horizontal. Se observa el aumento de temperatura antes mencionado en el canal caliente y la caída de temperatura del PET al momento de hacer contacto con el molde de inyección que está refrigerado.

El perfil térmico es muy importante para lograr una inyección eficaz; un perfil térmico calibrado correctamente permite obtener un perfil de velocidad de flujo de plástico constante y estable. Una caída de temperatura en una de las tres zonas del husillo o en el canal caliente provocaría un aumento de la viscosidad del material y la presión y una disminución de la velocidad de inyección.

La diferencia de profundidades del tornillo a medida que el material avanza sobre el mismo define la relación de compresión del tornillo. Esta relación es el aspecto más importante en el diseño de tornillos de plastificación de polímeros. Se define como la relación entre la longitud que existe entre la cresta y la raíz en la zona de alimentación y la zona de alimentación.

Figura 27. **Relación de compresión del husillo**



Fuente: ZAVALETA, Marco. *Relación de compresión*. <https://moldeoporinyeccion.com/relacion-de-compresion-rc/>. Consulta: agosto de 2021.

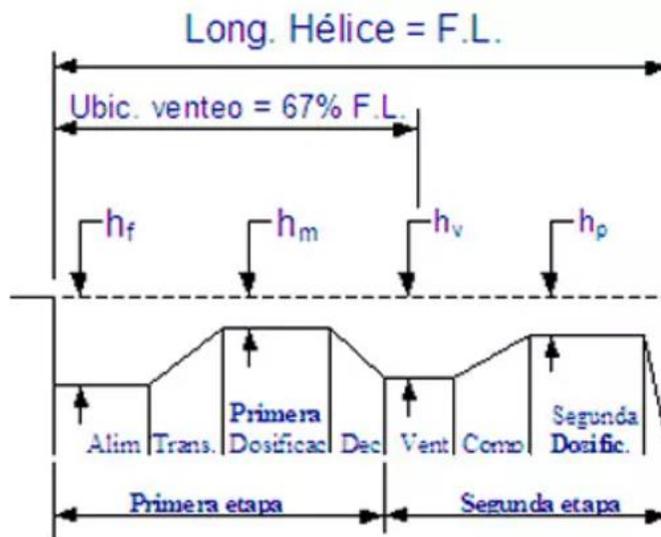
En la figura 30, la relación de compresión corresponde la relación entre h_1 y h_2 , es decir h_2/h_1 y se expresa en números enteros, es decir, para el husillo representado la profundidad de alimentación (h_1) es de 4,0 mm y la profundidad de dosificación h_2 es de 1,0 mm, la relación de compresión es:

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{4,0}{1,0} = 4 \text{ o } 4:1$$

- Tornillos de dos etapas

Los tornillos de dos etapas son, básicamente, dos tornillos puestos uno al final del otro para llevar a cabo diferentes funciones. La siguiente figura muestra la nomenclatura típicamente usada en tornillos de dos etapas.

Figura 28. **Sección transversal de un tornillo de dos etapas**



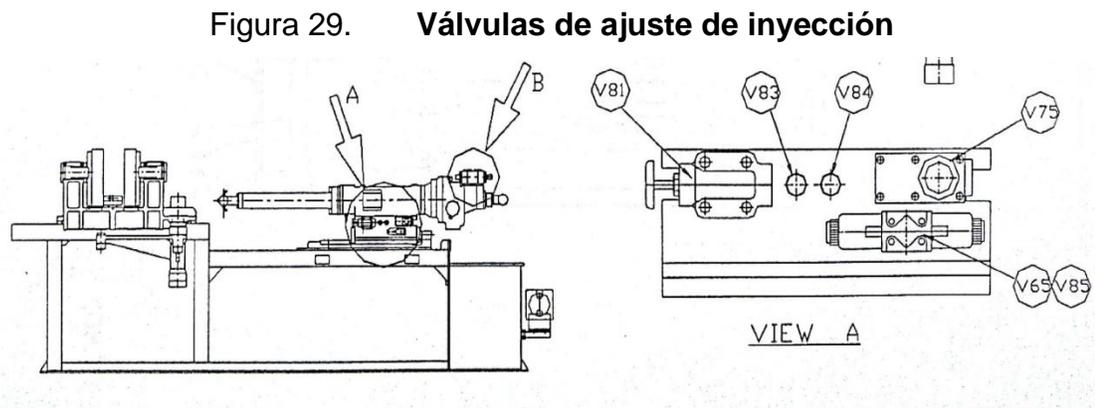
Fuente: WOMER, Timothy. *Lo que usted debe saber sobre diseño de tornillos*.
<https://www.plastico.com/temas/Lo-que-usted-debe-saber-sobre-diseno-de-tornillos+3038729?pagina=4>. Consulta: agosto de 2021.

La razón principal por la que las extrusoras cuentan con venteo es por la volatilización de humedad o gases como los ácidos acetaldehídos producidos en el procesamiento del PET.

EL husillo o tornillo, experimenta un torque por acción del motor hidráulico el cual causa movimiento rotacional en el mismo. Las revoluciones por minuto optimas las define el diámetro del husillo, como se expuso en la figura 11 de la sección 2.3.

Para lograr una inyección efectiva cumpliendo toda la secuencia de inyección de la sección 2.3. se deben ajustar las válvulas de presión V-81, V-75,

V-83 y V-84 (figura 29). Estas válvulas son las que gobiernan la presión hidráulica durante la etapa de inyección de las preformas. La ubicación de las mismas es directamente sobre el panel de control de la máquina. Todas las válvulas de ajuste se deben comprobar o ajustar para cada producto a fabricar dependiendo de las características que éste tenga.



Fuente: NISSEI ASB MACHINE CO., LTD. *Manual de operación.* p 65.

El esquema de la unidad de inyección de la máquina de inyección con soplado de orientación biaxial de la figura 29 muestra las válvulas que son necesarias para el correcto ajuste del perfil de velocidad y de presión tanto del husillo como del flujo de plástico dentro de la cavidad. La válvula V81 es la válvula de la presión máxima de inyección que equivale al máximo de presión que entrega la bomba de 13,7 Mpa, la válvula V83 corresponde a la presión de sostenimiento del husillo, la válvula V84 corresponde a la presión de contrapresión del husillo y la válvula V75 corresponde a la velocidad de la inyección, la cual aumentará o decaerá con un aumento o disminución de la presión, respectivamente.

Las válvulas son de ajuste manual por lo que el ajuste de las variables que se pueden ajustar se hace por medio de la visualización del manómetro V91 (figura 21).

3.5. Etapa de acondicionamiento

La etapa de acondicionamiento es una ventaja del procesamiento del PET en una sopleta en una máquina de inyección de preformas con soplado de biorientación.

El acondicionamiento es el término aplicado al procedimiento de ajuste fino y estabilización de la temperatura de las preformas con el fin de producir botellas de calidad uniforme. El acondicionamiento ayuda a evitar gradientes de temperatura muy altos en la preforma que se someta a estirado biaxial, además permite tener un perfil de temperaturas óptimo dependiendo de la geometría de la botella.

Los objetivos de la estación de acondicionamiento son:

- Estabilizar el proceso de fabricación
- Optimizar la distribución de material
- Permitir un moldeo más fácil y con menores problemas de moldeo.

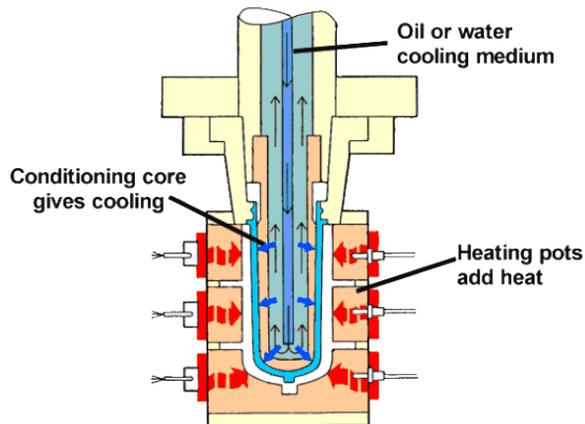
La estación de acondicionamiento otorga ciertas ventajas al proceso:

- Mejor fabricación de envases de diferentes geometrías con piezas de molde simples.

- Las piezas de acondicionamiento son más económicas de fabricar o modificar que las piezas de inyección.
- El tiempo de estadía en la estación de acondicionamiento permite que la sección de la pared de la preforma se estabilice para que todo el material esté a la temperatura adecuada para ser soplada.
- Mejora la estabilidad de moldeo a largo plazo.
- Las pequeñas variaciones de cavidad a cavidad se pueden compensar con ajustes simples, lo que resulta en menos tiempo de inactividad.

El acondicionamiento tiene lugar en las superficies interior y exterior de la preforma. En la primera en mediante el contacto directo con una pieza de aluminio con la misma figura que el macho de inyección y atemperada por medio de aceite acondicionado a una temperatura que se encuentre en el rango del estado de transición vítrea del PET, de otro modo esta pieza roba calor de la preforma y estropea el moldeo de la botella.

Figura 30. **Representación gráfica de la estación de acondicionamiento estándar para una inyectora de preformas con soplado biaxial**

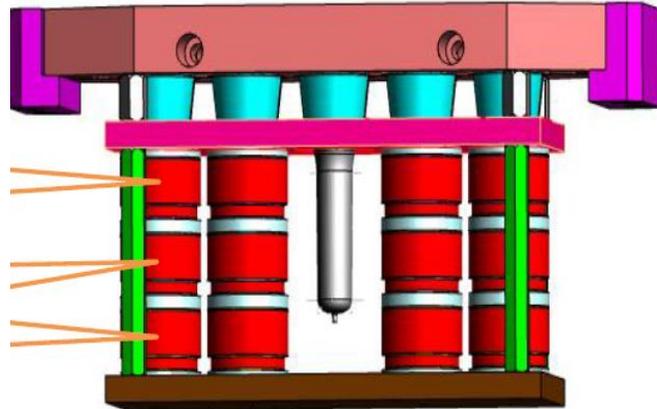


Fuente: NISSEI ASB MACHINE CO., LTD. *Curso de capacitación ASB.* p 48.

La figura 30 muestra una sección transversal de la estación de acondicionamiento ejecutando su trabajo. La pieza encargada de acondicionar la superficie interna de la preforma es llamada corazón de acondicionamiento. La parte encargada del acondicionamiento de la superficie exterior de la preformas es llamada cuba de calentamiento; la misma está conformada por una pieza de aluminio con un diámetro mayor que el diámetro exterior de la preforma y alrededor una resistencia emite calor que por radiación alcanza la preforma. A diferencia de los machos de acondicionamiento, las cubas de calentamiento no tienen contacto con la preforma.

Normalmente las cubas de calentamiento son varias (figura 31) esto permite variar la adición de calor a la preforma en forma variada a lo largo de su longitud, otorgando diferentes características en la misma en diferentes zonas, haciendo posible el formado de botellas con geometrías variadas y complicadas.

Figura 31. **Cubas de calentamiento de la etapa de acondicionamiento**



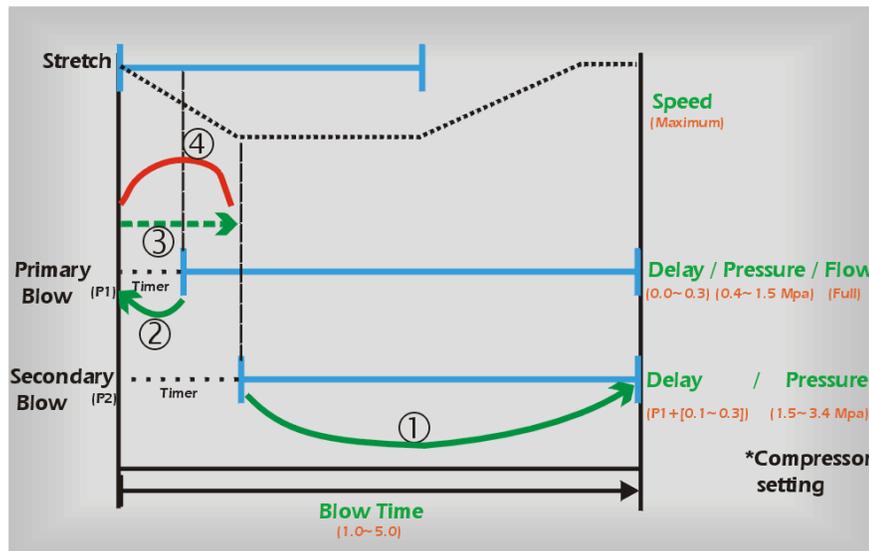
Fuente: NISSEI ASB MACHINE CO., LTD. *Curso de capacitación ASB*. p 72.

Las cubas de calentamiento también permiten disminuir los gradientes de temperatura que son tan indeseados en una preforma que será expuesta a un proceso de estirado biaxial ya que la uniformidad es mejor para un estirado parejo y distribución del plástico regular a lo largo de la botella.

3.6. Etapa de soplado

La máquina de inyección de preformas con soplado de estirado biaxial ejecuta el mismo en dos instantes que parten de un mismo punto en la escala de tiempo, esto permite ejecutar el estirado radial de la preforma en un instante y finalizar el formado de ángulos, radios o formas que contenga el molde de soplado en el otro instante: soplado primario y soplado secundario respectivamente (sección 2.5).

Figura 32. Diagrama de tiempos de ejecución de soplado de las preformas



Fuente: NISSEI ASB MACHINE CO., LTD. *Curso de capacitación ASB.* p 56.

El soplado es ejecutado en dos partes, la primera es llamado soplado primario o presoplado. En este momento una válvula solenoide deja fluir aire a una presión de entre 8 y 12 Bar, para inflar la preforma al mismo tiempo que las varillas de estirado la estiran, la preforma es soplada en un 90 % con este soplado.

La siguiente parte del soplado se llama soplado secundario: en este momento otra válvula solenoide deja fluir aire a una presión de 25 a 27 Bar y la botella adquiere su geometría final.

Los valores del temporizador de soplado en segundos son ingresados por el operador de la máquina directamente en la interfaz de la misma.

El ajuste del soplado se logra verificando los espesores de pared de las botellas producidas, tiempos de retraso más altos y presiones de aire moderadas permiten mejorar las distribuciones del plástico y obtener espesores de pared más parejos.

La figura 32 muestra el diagrama de tiempos de los instantes de soplado de preformas; partiendo de un punto inicial, el cual es el instante en el que la máquina cierra las dos mitades del molde de soplado, los tiempos transcurridos para la actuación de los dos soplados que experimenta la preforma son cruciales para la formación de botellas de calidad.

Tal tiempo transcurrido se conoce como el tiempo de retraso del inicio de actuación del soplado. En la figura 36 se puede apreciar el tiempo de retraso del inicio del soplado primario el cual es de 0,2 segundos (punto 1 a punto 2) así, especificaciones básicas para el soplado primario son: retraso de 0,2 segundos, presión de aire de 8 a 12 Bar, flujo: máximo.

Se aprecia también en la figura 36 que el tiempo de retraso de actuación del soplado secundario o final es de 0,4 segundos. El tiempo máximo de diferencia entre la actuación del soplado primario y el secundario es de 0,2 segundos. Entonces se establece que el tiempo de retraso del soplado secundario en segundos es:

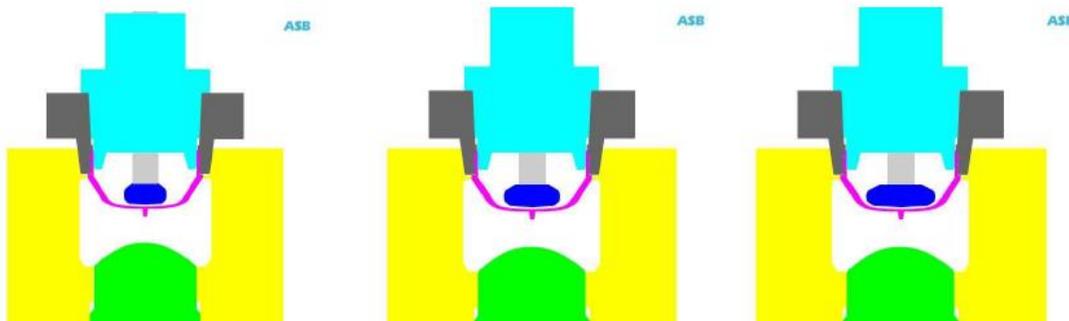
$$T_{sec} = T_{prim} + 0,2 \quad (8)$$

La forma de configurar el soplado primario depende de la geometría tanto de la preforma como de la botella final y el espesor de paredes de la preforma el cual, cuanto mayor sea, mayor resistencia al estirado se presentará. El soplado primario se encarga de posicionar el punto de inyección de las preformas en el

centro del molde de fondos de la botella mediante las variables que se pueden controlar: tiempo de retraso, presión y flujo de aire.

La forma de la punta de la varilla des estirado y su distancia del fondo del molde en el final de su carrera son factores que afectan al moldeo por soplado de botellas. Como regla general, la distancia que debe existir entre la punta de la varilla de estirado y el fondo del molde de soplado tiene que ser de 0,5 a 1,0 mm. la punta de la varilla de estirado ajusta el recorrido del material hacia abajo, debido a que el material debajo de la punta de estirado es más difícil de estirar.

Figura 33. **Punta de estirado de preformas**



Fuente: NISSEI ASB MACHINE CO., LTD. *Curso de capacitación ASB.* p 79.

La distancia de la punta de la varilla de estirado y el fondo del molde de soplado depende del espesor de pared de la preforma y del tamaño del punto de inyección que tenga la preforma. Para preformas más pesadas y con puntos de inyección más robustos deberá ser mayor a 0,5 mm y menor a 1 mm. Para preformas menos pesadas la distancia debe ser de 0,5 mm

En la figura 33 se observan 3 diferentes puntas de estirado de preforma. La primera tiene un efecto de estirado sobre la superficie del fondo de la preforma.

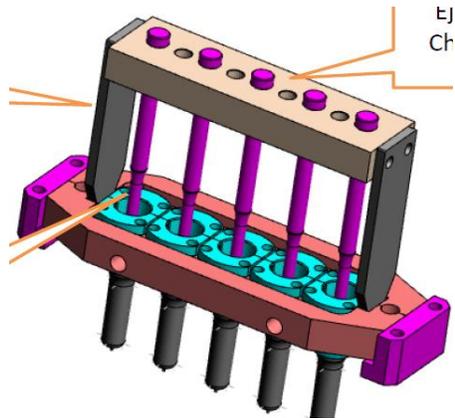
El efecto que puede llegar a tener en la botella depende de la geometría del fondo de la misma. Este primer ejemplo puede llegar a causar espesores de pared más delgados para fondos con ángulos y radios pequeños, en cambio la punta más grande en diámetro de la figura 37 puede significar espesores de pared más grandes ya que el tamaño de la punta transporta el material del fondo de la preforma sin estirarlo.

La punta de la varilla es fabricada normalmente de teflón o de algún otro polímero cuya dureza sea capaz de resistir las fuerzas a las que es sometido durante el estirado de la preforma. Es una parte simple y no se le da la importancia debida en la fabricación de diferentes productos con diferentes diseños de preformas. La etapa de soplado implica accesorios que se instalan durante el montaje de moldes en la máquina de inyección con soplado de biorientación Nissei ASB V2 que pueden ser una diferencia entre espesores de pared irregulares o regulares y afectar directamente las propiedades físicas y estéticas de la botella.

3.7. Etapa de expulsión

La etapa de expulsión es la más sencilla que posee la máquina de inyección con soplado de orientación biaxial. Su finalidad es únicamente abrir la placa de coronas de inyección mediante levas de apertura de molde (figura 34) y por medio de pines expulsores soltar el envase de las coronas de inyección que por las presiones de inyección y sostenimiento estas se encuentran empaquetadas en las coronas de inyección.

Figura 34. **Accesorios de la etapa de expulsión**



Fuente: NISSEI ASB MACHINE CO., LTD. *Curso de capacitación ASB*. p 84.

Las levas de apertura de molde separan las dos mitades de la placa de coronas de inyección y los pines expulsores ingresan en el cuello de la botella evitando que la misma se adhiera a alguna corona de inyección.

En la etapa de inyección se busca no golpear o rallar la botella fabricada, evitar contaminar la misma con grasa utilizada en las levas de apertura de molde o cualquier otra sustancia incluso que pueda estar presente en los pines expulsores. Luego de la etapa de expulsión contenedores o bandas transportadoras son instalados para continuar el proceso productivo.

3.8. Mantenimiento e inspección

La necesidad de los lineamientos de inspecciones y mantenimiento de este tipo de maquinaria radica en las necesidades de la industria de optimizar cada vez más sus procesos productivos para estar a la vanguardia del mercado de

botellas plásticas, cumplir con las normas de seguridad industrial, certificaciones y muy importante administrar el mantenimiento desde el punto de vista de:

- No sobrepasar el presupuesto destinado a mantenimiento.
- Reducir los costos totales de servicio.
- Reducir el tiempo de falta de servicio.
- Mantener el equipo en el mejor estado posible.
- Mantener altos estándares de calidad.

- Inspección

El correcto mantenimiento e inspección es esencial para la operación de la máquina en buenas condiciones, lo que supone producciones más eficientes. En cuanto a la inspección:

Previo al arranque de la máquina:

- Verificar la puerta de seguridad.
 - Asegurar que la puerta de seguridad abra o cierre suavemente.
 - Verificar la función normal de la puerta de seguridad y el botón de parada de emergencia.

- Verificar el aceite hidráulico y el aceite de lubricación. Confirmar que el aceite hidráulico llegue o exceda la línea roja del indicador de nivel de aceite. (Figura 35).

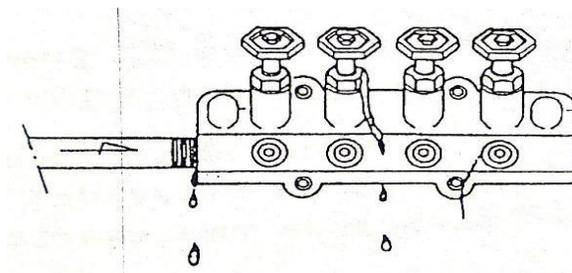
Figura 35. **Visor del nivel de aceite**



Fuente: NISSEI ASB MACHINE CO., LTD. *Manual de operación.* p 141.

- Lubricar todos los puntos móviles y los cojinetes de la mesa giratoria.
- Revisar el recipiente de residuo de aceite. Cuando este esté casi lleno, debe vaciarse.
- Inspeccionar las pérdidas externas de agua de todo el sistema de alimentación de agua. (Figura 46).

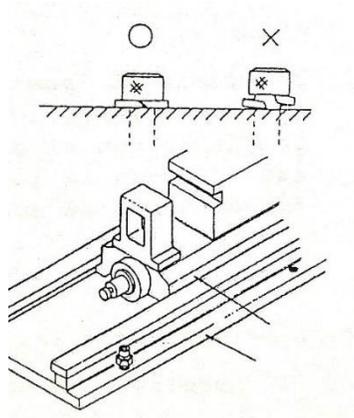
Figura 36. **Sistema de refrigeración de varias líneas con fugas de agua**



Fuente: NISSEI ASB MACHINE CO., LTD. *Manual de operación.* p 142.

- Revisar y ajustar los tornillos. (Figura 37).
 - Tornillos de ajuste del molde.
 - Tornillos de fijación de la placa corrediza de la unidad de inyección.

Figura 37. **Tornillos de ajuste de piezas críticas**



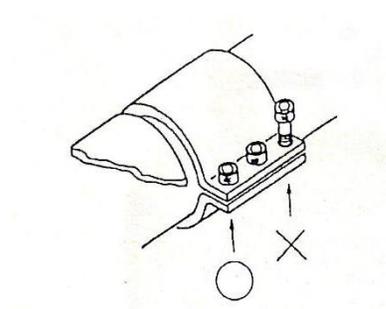
Fuente: NISSEI ASB MACHINE CO., LTD. *Manual de operación*. p 142.

- Revisar y ajustar los interruptores de límite y temporizadores.
- Inspeccionar la operación normal de los motores.
 - Motor eléctrico de la bomba hidráulica.
 - Servo motor de la mesa rotativa.
- Revisar las puntas de la varilla de estiramiento.

- Verificar el juego entre la punta de la varilla de estiramiento y el molde de fondo. Ajustar este juego en 0,5 – 1,0 mm.
- Inspeccionar la unidad de aire.
 - Retirar el agua del interior del filtro.
 - Revisar la cantidad de aceite del lubricador.
- Inspeccionar la fuga de aire revisando las conexiones del tubo de aire.
- Eliminar las materias extrañas del interior de los tubos y accesorios para evitar que se dañen las válvulas neumáticas.
- Verificar todo el sistema de operación.
- Inspección semanal.
 - Revisar y ajustar todos los tornillos de los interruptores de límite.
 - Revisar y ajustar los tornillos de conexión del husillo y el pistón de inyección.
 - Inspeccionar las bandas de resistencia. (Figura 38).
 - Revisar y ajustar los tornillos comunes de fijación.
 - Revisar y ajustar las tuercas del cableado.

- Inspeccionar el cableado eléctrico.
- Eliminar todo el material adherido en el calentador y el cableado.

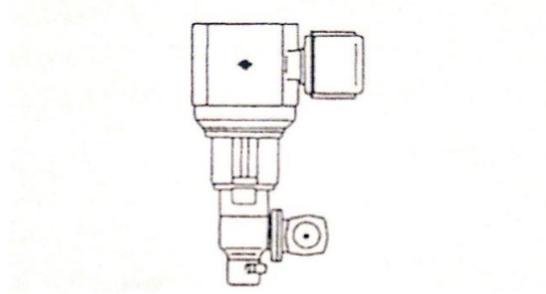
Figura 38. **Bandas de resistencia y correcta colocación de los tornillos de ajuste**



Fuente: NISSEI ASB MACHINE CO., LTD. *Manual de operación*. p 144.

- Inspeccionar las fugas de aceite de todas las válvulas y tuberías. Ajustar las uniones flojas.
- Revisar y ajustar todos los tornillos, tuercas, entre ellos.
- Limpiar el elemento del filtro de succión. Durante el primer mes, se requiere la limpieza semanal. Posteriormente se requiere limpieza mensual. (Figura 39).

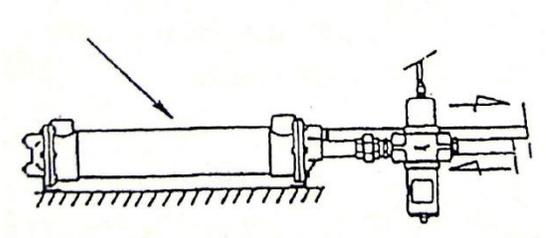
Figura 39. **Filtro de succión del aceite hidráulico**



Fuente: NISSEI ASB MACHINE CO., LTD. *Manual de operación*. p 145.

- Inspección mensual
 - Realizar todas las inspecciones del servicio de mantenimiento semanal.
 - Inspeccionar todos los cableados eléctricos, tornillos, soldaduras, entre ellos. Limpiar los componentes eléctricos.
 - Analizar el aceite hidráulico y cambiar si fuera necesario.
 - Revisar el intercambiador de calor del aceite. (Figura 40).

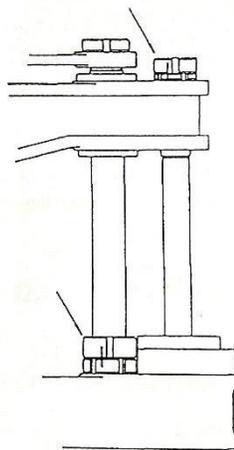
Figura 40. **Intercambiador de calor de aceite hidráulico**



Fuente: NISSEI ASB MACHINE CO., LTD. *Manual de operación*. p 145.

- Limpiar el filtro de aspiración.
- Limpiar el elemento del respiradero de aire.
- Revisar el juego de los sellos de todos los cilindros neumáticos.
- Revisar las pérdidas de los cilindros neumáticos.
- Revisar las rayaduras y escoriaciones de las superficies de deslizamiento
- Inspección semestral
 - Revisar y asegurar que no estén flojas las tuercas de ajuste de las barras de placas móviles. (Figura 41).

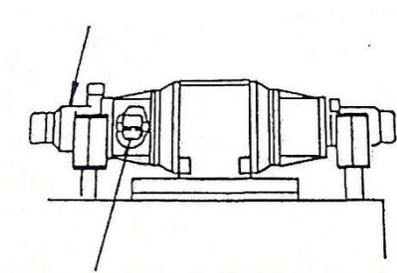
Figura 41. **Tuercas de ajuste de las barras de placas móviles**



Fuente: NISSEI ASB MACHINE CO., LTD. *Manual de operación*. p 146.

- Desmontar la caja de acoplamiento de cadena y agregar grasa de buena calidad en la misma (figura 42). Ver tablas de aceites recomendados.

Figura 42. **Caja de acoplamiento de cadena**



Fuente: NISSEI ASB MACHINE CO., LTD. *Manual de operación*. p 146.

- Limpiar los separadores de micropartículas ubicados dentro del tanque de aceite.
-
- Revisar los resortes de la placa de portapicos.
- Revisar las superficies paralelas entre la base inferior y la base superior.
- Inspección anual.
 - Realizar el análisis del grado de oxidación y otra contaminación del aceite hidráulico y reemplazar si fuera necesario.

- Realizar la prueba de resistencia de aislamiento de todos los componentes eléctricos y los cableados para detectar las fugas eléctricas.
 - Someter el motor de la bomba hidráulica a la inspección de un especialista.
 - Reemplazar el silenciador de escape de aire de soplado.
 - Revisar el desgaste o fisura de todas las mangueras y tuberías y reemplazar si fuera necesario.
 - Lavar todas las tuberías de agua incluyendo el intercambiador de calor y placas de moldes.
- Mantenimiento
 - Aceite hidráulico

El aceite hidráulico no solo transmite la presión, sino también sella, lubrica, enfría e inhibe la corrosión.

Para extender la vida útil, es importante que se seleccione el mejor aceite e inspeccionarlo con intervalos regulares. La vida útil se acorta por las siguientes razones:

- Oxidación.
- Mezcla con agua.

- Temperatura de aceite excesivamente alta.

La limpieza del aceite posibilita el servicio de larga vida de las válvulas y bombas.

- Temperatura del aceite
- Temperatura de arranque de operación 15 – 30 °C
- Temperatura de trabajo 35 – 45 °C
- Operación prolongada (al máximo) 50 °C

La operación debajo de los 15 °C puede provocar ruidos o la falla de la bomba debido a la alta viscosidad del aceite constituyendo una resistencia para la bomba o válvulas. Si la temperatura es excesivamente alta, pueden aparecer los siguientes problemas:

- Aumento de la oxidación, afectando la calidad del aceite.
- Se reduce la viscosidad del aceite, especialmente bajo la operación de la bomba a alta velocidad y esto causa un menor poder lubricante.
- Será necesario el cambio de ajuste de válvulas de acuerdo con la viscosidad del aceite.
- Se incrementará la fuga interna del cilindro, reduciendo a la presión real de cierre y de inyección.

- Se producen fugas externas de las partes de unión de las tuberías, colectores o válvulas.
- Se reduce la vida útil de las jutas tóricas y demás sellos.

Tabla IV. **Averías del aceite hidráulico sucio**

Avería	Causas	Contramedidas
Aire	<p>Desde las conexiones de las tuberías de entrada y salida.</p> <p>Desde los alrededores del sello del eje de la bomba.</p> <p>Desde los alrededores de la empaquetadura del cabezal de la bomba.</p> <p>Desde el cuerpo de la bomba.</p> <p>Debido al bajo nivel.</p> <p>Tuberías de retorno y drenaje sobre el nivel del aceite y chorreo de aceite en la superficie.</p> <p>La calidad del aceite es pobre.</p>	<p>Con la bomba en operación, observar las partes defectuosas o con pérdidas.</p> <p>Llenar el tanque hasta la línea roja del indicador de nivel (figura 25).</p> <p>Extender los tubos hasta debajo del nivel de aceite del tanque.</p> <p>Usar un aceite que sea particularmente resistente a la penetración de aire.</p>
Avería	Causas	Contramedidas
<p>Agua</p> <p>La presencia de agua produce la apariencia blanquecina del aceite.</p>	<p>La humedad del aire ha penetrado en el aceite.</p> <p>Entró el agua desde la tapa del cabezal.</p>	<p>En climas húmedos, el aceite deberá inspeccionarse mensualmente.</p>

Continuación de la tabla IV.

Avería	Causas	Contramedidas
Substancias sólidas	<p>Las virutas de metal fino quedaron en el tanque desde el momento de la fabricación.</p> <p>Material de sellado de los tubos.</p> <p>Algo penetró a través de la tapa del tanque.</p> <p>Algo ha caído a través del filtro de aceite.</p> <p>Se produjeron depósitos o polvo de hierro debido a la fricción de la válvula de la bomba.</p> <p>Se ha desprendido la puntura del interior del tanque y cayó en el aceite.</p>	<p>Lavar enteramente el tanque.</p> <p>Prestar particular atención al colorar los sellos para que queden perfectamente estancos.</p> <p>Asegurar que no caigan materias extrañas dentro del tanque al agregar el aceite.</p> <p>Asegurar que no caigan materias extrañas dentro del tanque.</p> <p>Instalar el tapón magnético en el interior del tanque.</p> <p>Usar pintura que no sea afectada por el aceite.</p>

Fuente: NISSEI ASB MACHINE CO., LTD. *Manual de operación*. p 150.

- Grado de contaminación

La cantidad de contaminantes en equipos hidráulicos ordinarios no debe ser mayor que 10 mg/100 mL. Los niveles de contaminación aceptables sugeridos se detallan en la siguiente tabla.

Tabla V. **Grado de contaminación permitida en equipos hidráulicos**

Clase de contaminación, meta código ISO		Nivel máximo de partículas sugerido		Sensibilidad	Tipo de sistema	Régimen de filtración sugerida
5 µm	15 µm	5 µm	15 µm			
13	9	4,000	250	Supercrítica	Sistema de control de limo de confiabilidad muy alta. Laboratorio o aeroespacial.	1-2
15	11	16,000	1,000	Crítica	Servo de altas características y sistemas de alta y larga vida, como aviones, máquinas herramienta, entre otros.	3-5
16	13	32,000	4,000	Muy importante	Sistemas confiables de alta calidad. Requerimientos de máquinas en general.	10-12
18	14	130,000	8,000	Importante	Máquinas en general y sistemas móviles. Presión media y capacidad media.	12-15
19	15	250,000	16,000	Promedio	Sistemas industriales pesados de baja presión o aplicaciones donde la vida útil larga no sea crítica.	15-25
21	17	1 000,000	64,000	Protección principal	Sistemas de baja presión con juegos grandes.	25-40

Fuente: NISSEI ASB MACHINE CO., LTD. *Manual de operación*. p 152.

- Cambio del aceite hidráulico
 - Se recomienda que el aceite hidráulico se reemplace por aceite nuevo dos meses (500 horas) después del arranque de las operaciones.

Posteriormente, cambiar el aceite, por ejemplo, de acuerdo con la siguiente norma:

Tabla VI. **Norma para el cambio del aceite del sistema hidráulico**

ITEM	Valor normal
Viscosidad	±10 %
Humedad	0,1%
Incremento total de ácidos	0,3 a 0,4mg KOH/g
Contaminación	10 mg/100 mL
Horas de operación	6 000 h

Fuente: NISSEI ASB MACHINE CO., LTD. *Manual de operación*. p 153.

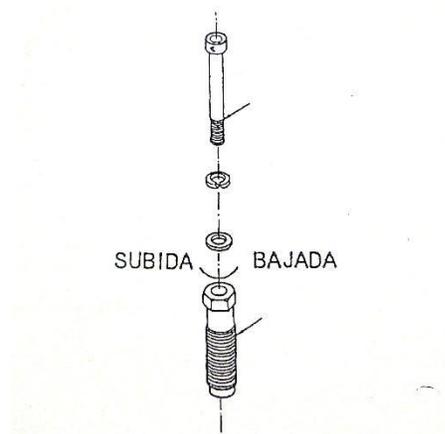
- Realizar la limpieza del tanque de aceite y los filtros al cambiar el aceite.
- Movimiento de deslizamiento de la unidad de inyección

Cuando se cambia la boquilla o el husillo y se desmonta el cilindro de calentamiento, las tareas serán más fáciles moviendo la unidad e inyección hacia un lado.

- Desplazar completamente la unidad de inyección operando la llave conmutadora de avance/retroceso de la unidad de inyección.

- Quitar los tornillos de fijación de la placa corrediza. (Figura 43).

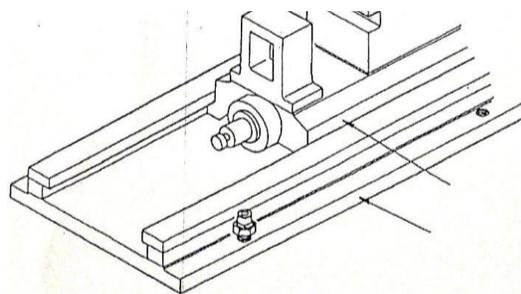
Figura 43. **Tornillos de fijación de la placa corrediza de la unidad de inyección**



Fuente: NISSEI ASB MACHINE CO., LTD. *Manual de operación.* p 154.

- Girar el tornillo de ajuste de altura de la boquilla en sentido contrario a las agujas del reloj, de manera que no quede espacio entre la placa corrediza y la base de la bancada (figura 48).

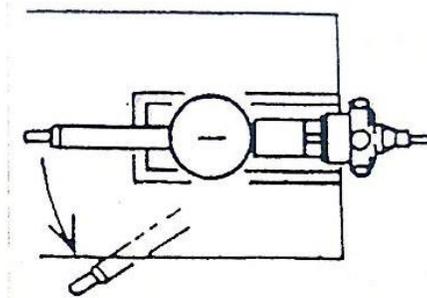
Figura 44. **Placa corrediza de la unidad de inyección y bancada de la máquina**



Fuente: NISSEI ASB MACHINE CO., LTD. *Manual de operación.* p 154.

- Desmontar las boquillas de cierre y las mangueras.
- El movimiento deslizante de la unidad de inyección puede realizarse empujando la unidad desde el lado opuesto al puesto de operación hacia el lado del puesto de operación, como se muestra en la figura 49.

Figura 45. **Dirección del giro de la unidad e inyección para realizar trabajos de mantenimiento**



Fuente: NISSEI ASB MACHINE CO., LTD. *Manual de operación*. p 155.

Esto proporciona al personal de mantenimiento u operador responsable de los trabajos de mantenimiento, el acceso a la unidad de inyección y el husillo de inyección.

- Desmontaje y limpieza de cañón y husillo de inyección

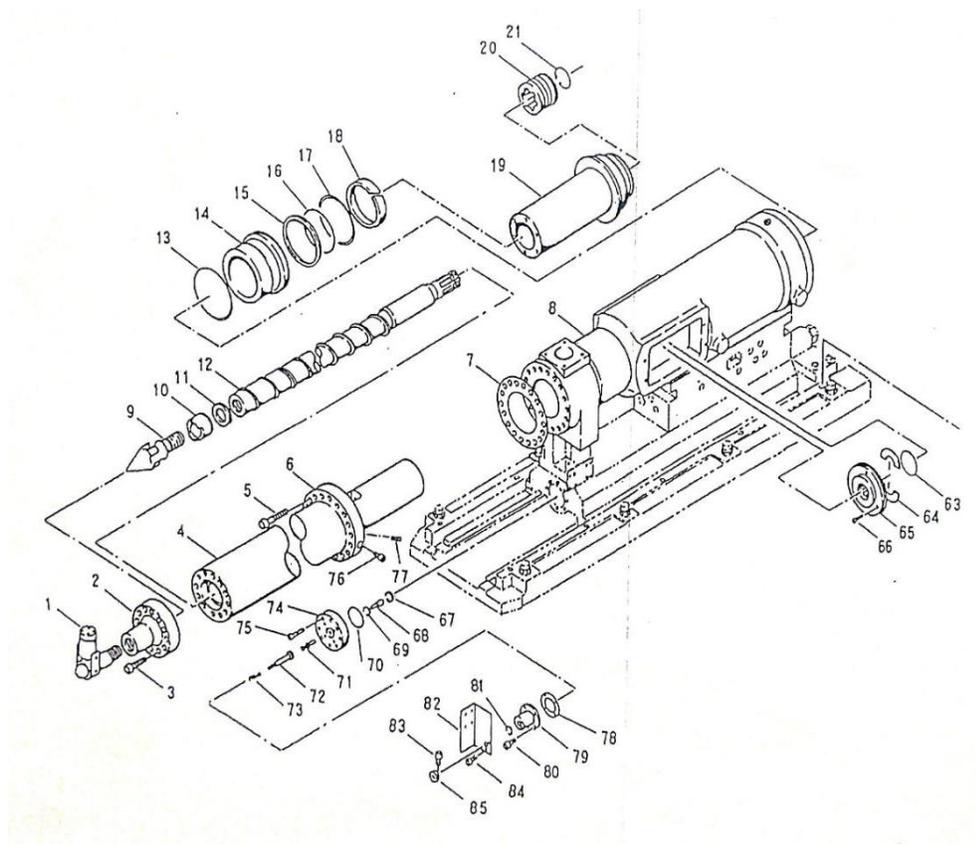
El desmontaje del husillo y el cañón de inyección se requiere en los siguientes casos.

- Hay materias extrañas dentro del cilindro.
- Debe eliminarse la resina residual del interior del cilindro.

- Cuando se reemplace el husillo o cañón de inyección.

También es necesario el desmontaje del husillo una vez por año para medición del diámetro de los hilos y el diámetro interior del cilindro del cañón de inyección y comprobar el ajuste entre estos dos elementos e identificar si existe desgaste de alguna de las partes. La siguiente figura muestra un plano del conjunto del cilindro y husillo de inyección, el cual se utiliza cuando se ejecute el desmontaje del husillo para mantenimiento o alguna reparación mayor.

Figura 46. **Plano de accesorios de cilindro y husillo de inyección**



Fuente: NISSEI ASB MACHINE CO., LTD. *Manual de operación*. p 156.

- Antes del desmontaje
 - Limpiar totalmente con poliestireno o polietileno, después que se hayan usado resinas muy adhesivas como policarbonatos, poliamidas, entre otros. Estos materiales tienden a adherirse en el husillo y dentro del cañón de inyección cuando se enfrían y al tratar de eliminarlos descuidadamente puede causar el desprendimiento del metal de esas partes. Al mismo tiempo, deberá usarse una contrapresión alta en el husillo cuando se usen resinas adhesivas.

- Para el desmontaje

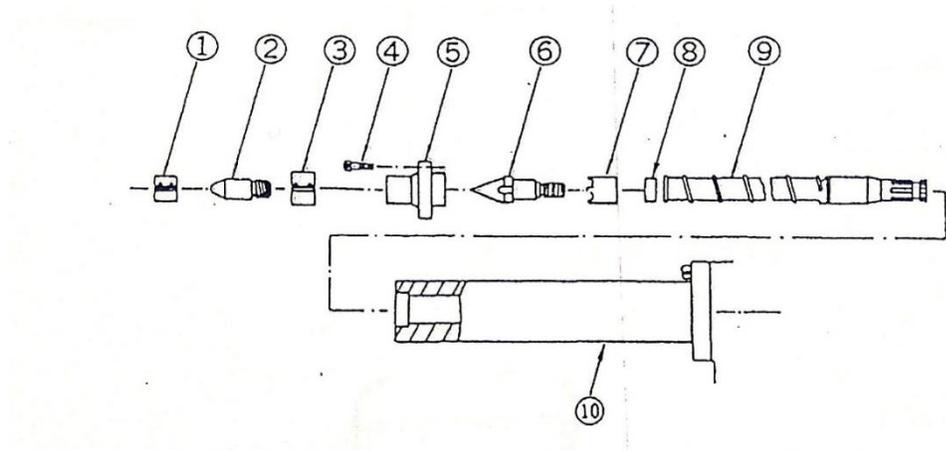
Desplazar la unidad de inyección hacia atrás de modo que se aleje del molde de inyección, posteriormente:

- Calentar el cañón de inyección a la temperatura de fusión de la resina. Desconectar la energía del cañón cuando haya alcanzado la temperatura fijada. Purgar con poliestireno o polietileno en el caso de haberse usado la resina altamente adhesiva durante la operación de moldeo.

- En forma gradual, retroceder completamente el husillo accionando el botón pulsador de retroceso del mismo.

- Desmontar el calentador de la boquilla (1) y el cabezal del cilindro (5). (Figura 47).

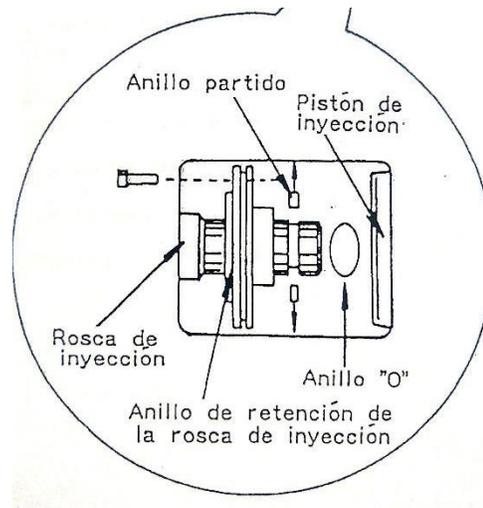
Figura 47. **Esquema de piezas de la unidad de inyección**



Fuente: NISSEI ASB MACHINE CO., LTD. *Manual de operación*. p 159.

- Desmontar los interruptores de límite de posición de carga y presión de sostenimiento ubicados en el agujero de la unidad de inyección.
- Desmontar el anillo de fijación del husillo con el pistón del motor hidráulico.
 - ✓ Quitar 3 tornillos de casquete. Ver figura 48.
 - ✓ Mover completamente hacia adelante el pistón de inyección.
 - ✓ Retroceder completamente el pistón de inyección.
 - ✓ Quitar el anillo partido y el anillo de retención del husillo desde la rosca.

Figura 48. **Acople del husillo con el pistón de inyección**



Fuente: NISSEI ASB MACHINE CO., LTD. *Manual de operación*. p 160.

- Colocar un bloque de madera largo y no muy grueso entre la parte trasera del husillo y el pistón de inyección. Al avanzar el pistón desde el panel de control, el husillo se desplazará en dirección del cabezal de inyección la misma distancia que el movimiento del pistón. Después de completar la carrera de avance, retroceder el pistón e introducir otra pieza de madera más larga, luego avanzar nuevamente el pistón de inyección. Después de repetir varias veces esta operación, es posible desmontar el husillo con las manos.

Como medida de seguridad, se debe sujetar los bloques de madera con tenazas. Se debe reducir la velocidad de inyección para asegurar un movimiento lento del pistón de inyección. Se debe colocar el husillo en una pieza de madera u otra superficie suave para evitar que se raye.

Una vez desmontado el husillo, el procedimiento para la limpieza del cañón o cilindro es el siguiente:

- Eliminar la película de resina del interior del cilindro con un cepillo de latón suave.
 - Colocar trapos limpios en el extremo de una varilla de madera larga e introducirla en el cilindro.
 - Repetir varias veces este proceso (reemplazando los trapos viejos por otros limpios si fuera necesario) hasta que el interior del cilindro quede casi limpio.
 - Introducir trapos nuevos mojados con solvente no inflamable dentro del cilindro después que la temperatura interior haya bajado hasta 30 °C a 50 °C.
 - Usar repetidamente los trapos limpios secos para limpiar el solvente no inflamable.
- Procedimiento de limpieza del husillo

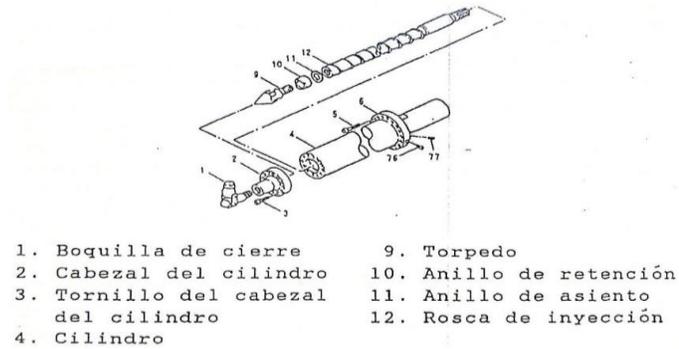
La mayor parte de la resina puede eliminarse del husillo con el uso de un trapo de algodón.

Lo que pueda quedar puede eliminarse con el solvente o el cepillo de alambre de latón.

- Desmontar y limpiar el torpedillo del husillo, el anillo de retención y el anillo de asiento del husillo.

- Limpiar el husillo y las roscas del torpedo con cepillo de alambre.
- Finalmente, limpiar todos los elementos con solvente no inflamable y luego pasar trapos limpios.
- Precauciones durante el desmontaje del husillo
 - Desmontar el torpedo de la rosca de inyección girando en sentido contrario a las agujas del reloj.
 - No se debe tratar de arrancar el material enfriado y adherido en diversas partes.
 - No usar utensilios de limpieza de hierro o acero salvo para limpiar las roscas. Deben usarse las varillas o cepillo de latón para limpiar el husillo.
 - Aplicar grasa de disulfuro de molibdeno no combustible o aceite de silicona, entre otros. Al torpedo del husillo antes del armado (solo se requiere una capa fina, ya que el exceso puede ensuciar los productos).
 - Prestar particular atención para evitar la rayadura u otros daños de las superficies. Las rayaduras o escoriaciones pueden causar fugas de la resina o el reflujo del material durante la inyección.

Figura 49. **Piezas para limpieza de unidad de inyección**



Fuente: NISSEI ASB MACHINE CO., LTD. *Manual de operación.* p 164.

- Par de ajuste de los tornillos de del cabezal del cilindro.

Ajustar los tornillos de fijación del cabezal con los pares mostrados en la siguiente tabla.

Tabla VII. **Par de apriete de tornillos del cabezal del cilindro**

Tipo de unidad de inyección	Diámetro del husillo	Tamaño del tornillo (M) X largo (n)	Par Kgf m
IU-10	32	12 X 12	8,3
	38	12 X 12	11,5
	44	12 X 12	6,8
IU-20	42	16 X 10	20,0
	48	16 X 10	18,8
	52	16 X 10	16,4

Continuación tabla VII.

IU-30	44	16 X 12	16,0
	54	16 X 12	11,0
	64	16 X 12	12,9
IU-50	58	20 X 12	25
	64	20 X 12	25
	72	20 X 12	25
IU-110	64	20 X 12	28
	75	20 X 12	28
	84	20 X 12	28

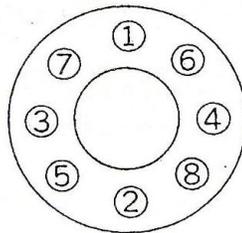
Fuente: NISSEI ASB MACHINE CO., LTD. *Manual de operación*. p 165.

Según la tabla VII La máquina de inyección con soplado de orientación biaxial Nissei ASB 50 MB V2 cuenta con la unidad de inyección IU-10 y un diámetro de husillo de 44 mm, por lo que el par necesario para el apriete de los tornillos de fijación del cabezal de inyección es 6,8 Kg·m.

- Método de ajuste
 - Ajustar uniforme y diagonalmente los tornillos del cabezal, como se muestra en la figura 50 y repetir estos pasos de 5 a 6 veces.
 - Ajustar los tornillos del cabezal de acuerdo con el par correcto establecido en la tabla anterior.

- Regular el par de ajuste de manera que todos los tornillos del cabezal queden ajustados uniformemente de acuerdo con el par regular.

Figura 50. **Orden de ajuste de tornillos del cabezal de inyección**

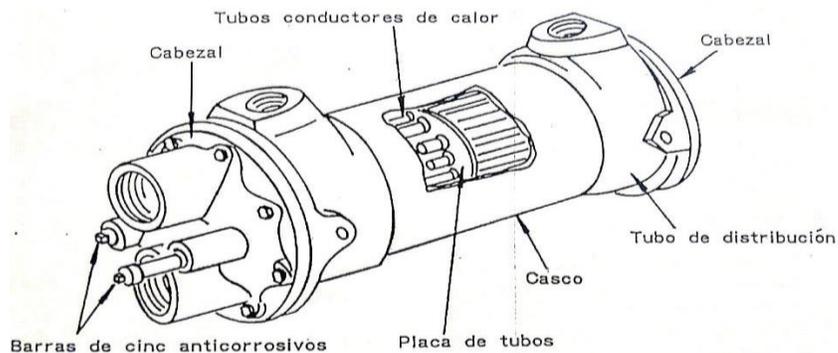


Fuente: NISSEI ASB MACHINE CO., LTD. *Manual de operación.* p 165.

- Inspección del intercambiador de calor.

Al usar agua dura para el intercambiador de calor, los tubos pueden corroerse después de un prolongado período de operación. Para evitar tales problemas, se colocan las barras anticorrosivas de zinc para neutralizar la dureza del agua.

Figura 51. **Intercambiador de calor de aceite hidráulico de la máquina**



Fuente: NISSEI ASB MACHINE CO., LTD. *Manual de operación.* p 166.

La figura 51 muestra la estructura del intercambiador de calor de la máquina.

- Barras de zinc: cuando las barras quedan cubiertas con incrustaciones, ya no cumplen la función de neutralización. Se requiere la inspección semestral.
- Tubos: desmontar el cabezal e inspeccionar la corrosión o suciedad de todos los tubos.
- Limpieza: para realizar la limpieza del intercambiador de calor:
 - Limpiar la superficie de las barras de zinc con cepillo de alambre fino y reemplazarlas cuando estén excesivamente corroídas.
 - Lavar el interior y exterior de los tubos con solución alcalina débil. Son comercialmente disponibles las soluciones de marca.
 - Cuando estén excesivamente sucios, lavar con solución de ácido hidroclicórico débil.
- Aceite

Consultar las siguientes tablas para los usos de los aceites lubricantes.

Tabla VIII. **Aceite hidráulico; viscosidad cinética 41,1 – 50,6 cSt (40 °C)**

Tipo	Antidesgaste		R&O
	ISO	VG	46
Compañía			46
MOBIL		Mobil DTE 25	Mobil Oil Med Mobil Hydraulic Oil 38
ESSO STANDARD		Nuto H 46	Telesso 46
SHELL		Shell Tella Oil 46	-----
CALTEX		Rand Oil HD 46	Rand Oil 46

Fuente: NISSEI ASB MACHINE CO., LTD. *Manual de operación.* p 168.

Tabla IX. **Aceite lubricante (Clase de SUS 150-300/37,8 °C) (Clase de 32-68 cSt/40 °C)**

Tipo	Para superficies deslizantes					
	ISO	VG	32	46	(56)	68
Compañía						
Mobil			Vectra oil 1 Vacuoline oil 1 405	----	----	Vactra oil 2 Vacuoline oil 1 409
ESSO STANDARD			Powerlwx DP 32	----	----	Febis K 68 Powelex DP 68
SHELL			Shell tona oil T32	----	Shell Tona oil T56	Shell Tona oil T68

Fuente: NISSEI ASB MACHINE CO., LTD. *Manual de operación.* p 168.

Tabla X. **Grasa (consistencia 1 o 2)**

SHELL	Grasa shell Alvania EP Núm. 1 y 2
ESSO STANDARD	Listan EP 1 y 2
MOBIL	Mobilux EP 1 y 2
MOBIL	Mobil temp SHC 100 para cilindros neumáticos
WYNN	Grasa multiuso
SUMIKO	Grasa white alcom Núm. 2

Fuente: NISSEI ASB MACHINE CO., LTD. *Manual de operación*. p 169.

Tabla XI. **Aceite de turbina (ISO VG32)**

Tipo	ISO	Para lubricador neumático	
		VG32 Clase 1	VG32 Clase 2
Compañía			
MITSUBISHI		Turbine oil 32	Diamond turbine oil 32
SHELL		Turbine oil 32	Turbine Ace 32 J-H32 Turbo oil T32
GENERAL		R Turbine oil 32	Super turbinol 32

Fuente: NISSEI ASB MACHINE CO., LTD. *Manual de operación*. p 169.

- Ajuste de la presión de inyección

El ajuste de presión de inyección es necesario para que la presión máxima en la unidad de inyección sea igual a la presión que la bomba puede entregar. Esto garantiza que no se pierda presión de inyección con el tiempo y en la producción de varios productos. La válvula reguladora de esta presión es la V81 (figura 29, sección 3.5).

- Una vez el cañón se encuentra a su temperatura normal de operación, activar el selector del husillo para avanzar el mismo hasta que este se pare en la posición extrema. Poner el selector del husillo en la posición neutral.
- Nuevamente activar el selector del husillo en la posición de inyección y mantenerlo, la presión máxima de inyección que permite la V81 aparecerá en el manómetro V91.
- Girando la manija en sentido de las manecillas del reloj, la presión seguirá aumentando. Ajustar la presión tanto como sea requerido para la condición de moldeo.
- Es recomendable ajustar la válvula V81 por lo menos al 90% de la presión de la bomba, de este modo se tendrá presión suficiente dependiendo de las condiciones de moldeo, pudiendo graduar la presión mediante la llave de velocidad de inyección V75 (figura 33 sección 3.5).

Este ajuste debe realizarse cada 3 meses. La presión máxima calibrada generará una ventana de procesamiento muy alta para requerimientos de moldeo variados, pero debido a condiciones muy poco controlables como las condiciones atmosféricas, desgaste de la máquina, tiempo de vida y calidad de los moldes, degradación del aceite, entre otros. Es recomendable realizar este ajuste 4 veces

por año, aunque un criterio válido de ejecución puede ser siempre que se instale un molde diferente.

4. ELEMENTOS DE OPERACIÓN DE LA MÁQUINA

La operación de la máquina se ejecuta en una serie de pasos que el operador de la misma tiene que seguir para garantizar un arranque correcto y el cuidado de los sistemas hidráulico, principalmente, neumático y mecánico.

4.1. Agua de la torre de refrigeración

El agua de la torre de refrigeración debe suministrarse al intercambiador de calor del aceite hidráulico antes de encender la bomba y los calentadores de resistencia. Se siguen los siguientes pasos para la operación de la refrigeración de agua de la torre de refrigeración:

Para abrir el circuito de agua de la torre de refrigeración, se debe abrir primero la llave de retorno, salida de la máquina y luego la llave de suministro a la máquina.

Cuando se pare una máquina que ha estado moldeando botellas, se debe continuar suministrando el agua de la torre de refrigeración a la máquina durante un mínimo de una hora después de la parada. Esto es para evitar que se dañen los empaques y los sellos de zonas calientes como, por ejemplo, el canal caliente, las juntas del intercambiador de calor del aceite hidráulico y las placas que tengan refrigeración por medio de la torre.

Para cortar el suministro de la torre de refrigeración, se debe cerrar primero la válvula de suministro y luego la de retorno.

4.2. Secador de resina

Para una operación correcta y segura del secador de resina se deben aplicar los siguientes puntos.

Antes de iniciar la operación del secador, se debe confirmar que los filtros de proceso y de regeneración estén limpios y en buenas condiciones. Un filtro de proceso saturado de finos polvo puede afectar el secado del material a través de una disminución del flujo de aire caliente de secado.

Se debe confirmar que la tolva principal esté llena de resina PET.

Se debe confirmar que la tapadera de la tolva esté correctamente puesta y que el empaque de la misma esté bien puesto y en buen estado.

Arrancar el secador con la temperatura de proceso correctamente graduada (capítulo #5) cuatro horas antes del arranque planeado de la máquina.

Encender el cargador de la tolva principal unos minutos antes del arranque planeado de la máquina.

Al momento de parar el secador, utilizar siempre el método de enfriamiento recomendado según el secador, en este caso se debe apagar las resistencias de proceso y regeneración y dejar activadas las bombas de flujo de aire para disminuir la temperatura del PET.

Si la máquina estará parada por más de una hora, se debe disminuir la temperatura del secador a 100 °C o menos para evitar la degradación termo-oxidativa del PET por exposición a temperaturas altas por periodos de tiempo

prolongados. Se deberá aumentar la temperatura del secador nuevamente una hora antes del arranque planificado.

Se debe tener en cuenta que los fallos del secador suponen más del 60 % de todos los problemas del procesamiento de moldeo de botellas PET, se debe comprobar frecuentemente que el secador funciona de forma correcta.

La inyección de una preforma de calidad aporta el 80 % del moldeo de botellas PET, por lo tanto, el secador es un equipo crítico en el procesamiento del PET en una y dos etapas, ya que una resina fundida e inyectada con humedad causa degradación hidrolítica del PET.

4.3. Aire de operación

Antes de iniciar cualquier operación de la máquina de moldeo, se debe confirmar que se logra la presión del aire de operación correcta según las especificaciones técnicas de la máquina (capítulo 3).

Se debe comprobar la presión indicada en el compresor de aire utilizado para suministrar el aire a la máquina y en el regulador de presión ubicado antes del bloque de electroválvulas neumáticas.

El aire suministrado para la operación de la máquina debe ser aire seco para evitar el mal funcionamiento de los equipos neumáticos: válvulas y cilindros. El agua puede lavar la grasa que lubrica los pistones de los cilindros neumáticos presentando fricción con las paredes internas del cilindro y esto afecta los tiempos y las velocidades de carrera de los mismos.

Cuando se pare la máquina, la presión del aire puede dejarse activada o desactivada, esto no produce ningún efecto en la máquina. Sin embargo, teniendo en cuenta la seguridad del personal, la presión deberá desactivarse en el punto de suministro principal a la máquina.

4.4. Aire de soplado

El aire de soplado puede ser suministrado por un compresor separado o desde un sistema separado del mismo compresor que fue arrancado para suministrar el aire de operación.

La presión de aire en la línea de soplado es muy alta, se encuentra entre los 400 – 450 Psi, se deben tomar precauciones para evitar lesiones o daño en los oídos.

Cuando se pare la máquina, la presión del aire de soplado puede dejarse activada o desactivada, esto no produce ningún efecto en la máquina. Sin embargo, teniendo en cuenta la seguridad del personal, la presión deberá desactivarse en el punto de suministro principal a la máquina.

4.5. Agua del enfriador

Para refrigerar los moldes de inyección y de soplado se requiere agua del enfriador a una gama de temperatura de 8 °C a 14 °C, dependiendo de la configuración necesaria para diferentes productos. Debido a la baja temperatura de esta agua, y como resultado de las condiciones ambientales locales, es posible que se forme condensación en las superficies de los moldes, especialmente si no se utiliza un deshumidificador de moldes.

Como el agua del enfriador solo se necesita durante la operación del moldeo normal, esta puede dejarse cerrada hasta unos 15 minutos antes de que la máquina comience el trabajo de moldeo.

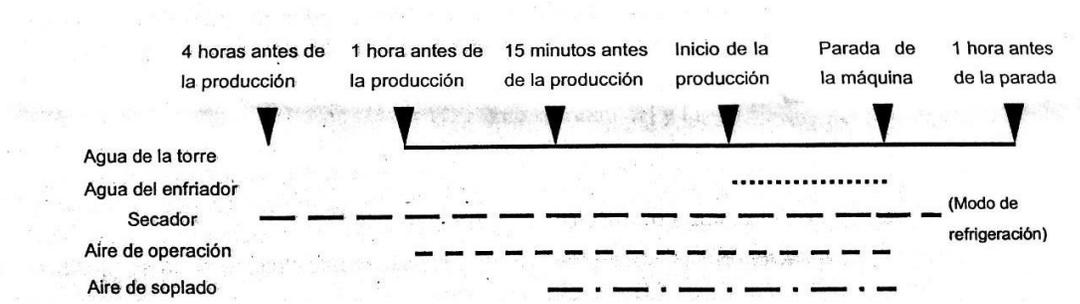
La configuración de la temperatura del agua del enfriador se debe realizar en el equipo de enfriador el cual es independiente de la máquina. Para una correcta operación del suministro de agua del enfriador, se deben seguir los pasos que se mencionan a continuación:

- Cuando se active el suministro de agua del enfriador, confirmar que todas las válvulas de suministro y de drenaje estén cerradas.
- Arrancar las bombas y compresores del equipo enfriador para comenzar la operación de bombeo. En este momento se tiene que ingresar la temperatura deseada para el procesamiento del producto.
- Para abrir el circuito de agua del enfriador, abrir primero el orificio de retorno (salida de la máquina) y luego abrir el orificio de suministro (entrada a la máquina).
- Cuando se tenga que parar la máquina se debe cortar el suministro de agua del enfriador cuando la máquina termine su último ciclo de moldeo con el fin de evitar la formación de condensación en las superficies externas e internas de los moldes de inyección, lo cual puede ocasionar corrosión en las piezas.
- Para cerrar el suministro de agua fría, cerrar primero la válvula de suministro y luego la de retorno.

- Si la máquina va a estar parada durante más de 1 hora, es posible la opción de detener la operación del enfriador para ahorrar energía.

El correcto suministro de servicios a la máquina tiene un orden que debe seguirse (figura 52) para ejecutar una preparación y operación correcta de la máquina.

Figura 52. **Configuración ideal del suministro de servicios a la máquina**



Fuente: NISSEI ASB MACHINE CO., LTD. *Manual de operación*. p 54.

Según la figura 52 se establece que el flujo de aire caliente del secador es el primer servicio que se suministra a la máquina, luego, 1 hora antes de arrancar, el aire de operación y el agua de la torre de enfriamiento, 15 minutos antes del arranque se suministra el aire de soplado y por último el agua del enfriador.

4.6. Comprobaciones antes de arrancar la máquina

Las comprobaciones necesarias antes del arranque se deben ejecutar siguiendo el plan de inspección en el capítulo 3 sección 3.9 Mantenimiento e inspección.

Sin embargo, comprobaciones necesarias de parte del operador de la máquina son las siguientes:

- Comprobar que el suministro de todos los servicios esté realizado.
- Comprobar que los moldes de inyección y soplado, así como todos los demás accesorios estén montados correctamente, asegurar que no haya piezas faltantes, flojas o en mal estado que puedan comprometer otras piezas con las que interactúen o los sistemas de la máquina.
- Comprobar que todas las mangueras del suministro de aire de operación y de soplado estén conectadas.
- Comprobar que todas las temperaturas de los calentadores de resistencia del cañón de inyección y del horno estén correctas, en un rango de 270 °C a 290 °C.
- Comprobar que la temperatura del aceite hidráulico se encuentre entre 40 °C y 45 °C como máximo.

4.7. Arranque de la bomba hidráulica

La bomba hidráulica solo se puede arrancar después de completar los puntos siguientes:

- Todos los botones de parada de emergencia están sin pulsar.
- Todas las puertas de seguridad están cerradas.
- El interruptor de operación principal está en NEUTRAL N.

Se debe arrancar la bomba hidráulica pulsando alternativamente cinco o seis veces el botón BOMBA MARCHA y el botón BOMBA PARADA y finalmente pulsar el botón BOMBA MARCHA para dejar la bomba funcionando. Esta técnica de arranque lento mejora la duración de la bomba, sin embargo, solo será necesaria cuando la máquina no haya estado funcionando durante varias horas.

4.8. Temperatura del aceite

La temperatura del aceite para la operación de la máquina es de unos 40 °C. Si la indicación de la temperatura del aceite está demasiado baja, la operación de la máquina tendrá errores y es posible que se produzcan daños en el sistema. En caso de que el aceite esté demasiado frío, se debe arrancar la bomba de aceite para elevar la temperatura.

4.9. Para de la bomba hidráulica

El motor de la bomba hidráulica puede pararse siguiendo varios métodos.

- Presionando el botón de BOMBA PARADA que es recomendado en circunstancias normales.
- Presionando uno de los botones de parada de emergencia PARADA EM.
- Abriendo una de las puertas de seguridad de la máquina. (Emergencia solamente).
- Desactivando el disyuntor principal QF1 (emergencia solamente).

La parada del motor de la bomba siguiendo uno de los métodos de emergencia no deberá realizarse repetidamente porque existe la posibilidad de que las piezas eléctricas o hidráulicas se estropeen a largo plazo.

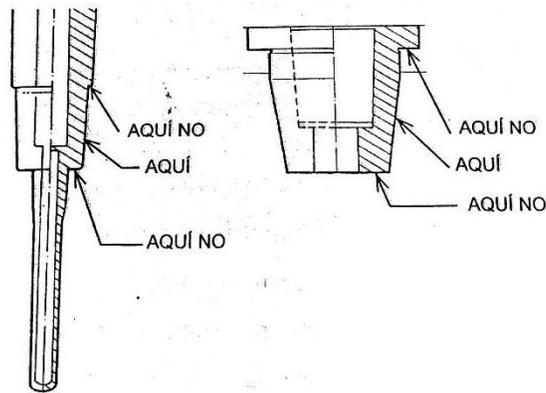
4.10. Lubricación anterior al arranque

Durante el tiempo de secado del PET antes del arranque de la máquina que es de 4 horas, se debe ejecutar la lubricación de la máquina y piezas de los moldes para alargar su vida útil y asegurar una correcta operación. Para hacer la lubricación de las piezas de los moldes, primero se deben hacer los siguientes pasos.

- Abrir completamente el molde de inyección y el molde de soplado.
- Colocar el espaciador de prevención de caída.
- Limpiar las piezas siguientes para quitar la grasa vieja y aplicar una capa de grasa aprobada por la FDA en los siguientes lugares.
 - Interior de la parte cónica de la cavidad de inyección.
 - Área cónica del macho de inyección y de la cavidad labio. Ver figura 53. Se debe evitar utilizar una cantidad excesiva de grasa porque esta puede bloquear el orificio del molde.
 - Área cónica de la cuba de calentamiento.
 - Área cónica del macho de soplado.

- Área cónica de la parte superior del molde de soplado.
- Perno guía del molde de soplado.
- Riel guía del molde de soplado.
- Cuña o leva de expulsión.

Figura 53. **Área de lubricación en las piezas de moldes de inyección**



Fuente: NISSEI ASB MACHINE CO., LTD. *Manual de operación.* p 56.

- Limpiar y lubricar todas las superficies deslizantes de la máquina, esto es: bujes de barras de actuadores hidráulicos y la bancada de la mesa rotativa de deslizamiento de las placas porta moldes de soplado.

Es importante realizar la lubricación de las superficies deslizantes de la máquina una vez al día para evitar el desgaste excesivo de los bujes de las placas móviles y que se produzcan huelgos que afecten el funcionamiento de la máquina.

La lubricación de las piezas de los moldes se debe realizar cada vez que se instale un molde o una vez por semana, para ello es necesario retirar la grasa vieja.

4.11. Cuatro horas antes de arrancar

Los pasos a seguir para el arranque de la máquina 4 horas antes del inicio de la operación de moldeo son:

- Abrir el suministro de agua de la torre de refrigeración y el de aire de operación de la máquina, abrir también las válvulas del secador de resina.
- Arrancar el secador de resina.

4.12. Una hora antes de arrancar

- Abrir la válvula de suministro de agua de la torre de refrigeración a la máquina de moldeo.
- Encender los calentadores del cilindro y del canal caliente. Confirmar que las zonas calentamiento de boquilla de canal caliente estén apagadas en ese momento.
- Abrir el suministro de aire de operación a la máquina.
- Realizar la lubricación anterior al arranque en el molde y en la máquina de la sección 4.11.

- Iniciar la operación de la máquina en modo de ciclo seco para estabilizar la temperatura de la máquina y molde.

4.13. 15 minutos antes de arrancar

- Parar el modo de operación de ciclo seco de la máquina.
- Activar las zonas de calentamiento de la boquilla del canal caliente.
- Arrancar el enfriados sin abrir de momento las llaves de suministro de agua del enfriador.
- Abrir el suministro de aire de soplado a la máquina,
- Confirmar que todos los ajustes de parámetros de la máquina estén bien hechos, para el molde colocado.

4.14. 5 minutos antes de arrancar

- Abrir la válvula de suministro de resina a la máquina.
- Iniciar la operación de purga de material.
- Si resulta necesario, destapar el plástico adherido a las boquillas de inyección por medio de la inserción de un alambre suave (por ejemplo, electrodo sin revestimiento) caliente en las cavidades hasta que penetre por el canal.

4.15. Operación de moldeo manual de preformas

Ahora es posible iniciar la operación de moldeo manual de preformas, hacer la operación manual para comprobar la calidad y llenado de la preforma y ajustar paso a paso.

La operación manual de moldeo de preformas permite controlar con calma las presiones y posiciones del husillo hasta llenar de forma correcta el molde de inyección antes de arrancar la máquina en modo automático. El procedimiento es el siguiente:

- Arrancar la bomba hidráulica.
- Colocar el interruptor principal en la posición manual.
- Comprobar que el interruptor de los calentadores esté activado.
- Cerrar el molde de inyección por medio del descenso de los machos de inyección y de la mesa de inyección.
- Activar el modo presión de molde el cual activa la alta presión del sistema hidráulico para el moldeo.
- Cargar el husillo de material hasta que este llegue a su final de carrera.
- Activar los selectores de bajada de la mesa de inyección, bajada de los machos de inyección y unidad de inyección hacia adelante y dejarlos activados, esto hará que el molde de inyección esté cerrado con la presión

de trabajo y la boquilla de la unidad de inyección está asentada en el bebedero del canal caliente.

- Activar el selector de husillo hacia adelante o inyección y observar el movimiento del husillo para comprobar si se realiza una inyección normal.
- Si el husillo se detiene a medio camino, el molde tal vez tenga un problema de obstrucción o disparo corto.
- Si el husillo va completamente hacia adelante sin parar, el molde puede tener problemas de ajuste provocando rebabas.
- En ambos casos, la inyección deberá detenerse inmediatamente. Cuando se utilice un molde nuevo, el husillo puede ir completamente hacia adelante sin parar en la primera inyección, siendo esto normal.
- Después de ejecutar el llenado de la cavidad con la inyección manual, mantener el selector de husillo hacia adelante durante unos 10 segundos.
- Colocar el interruptor principal en neutro y retraer la boquilla de inyección del bebedero del canal caliente para evitar que el material que se encuentra en el canal caliente empuje hacia arriba a través del punto de inyección mientras el molde de inyección está abierto.
- Abrir el suministro del agua del enfriador.
- Abrir el molde de inyección por medio de la activación de los interruptores de subida de los machos de inyección y de la mesa de inyección.

- Inspeccionar las preformas en las cavidades labio o coronas de inyección en la mesa rotativa. Si se han hecho buenas preformas, es correcto entonces hacer funcionar la máquina durante dos o tres ciclos de moldeo de preformas en modo semi automático y luego proceder con la operación automática.
- Si las preformas no se hace correctamente, detener el moldeo. Se tiene que retirar las piezas de preformas que han fallado de todas las piezas del molde de inyección que contengan residuos.

4.16. Ajustes necesarios en la operación de moldeo manual de preformas

Quando se cambie el molde de inyección, es decir, se inyecte una preforma diferente es necesario ajustar lo siguiente:

- Interruptor de confirmación de caída: este trabajo se debe realizar después de parar la máquina. Entre la estación de expulsión y la de inyección se encuentra el interruptor de confirmación de caída. Se debe confirmar que el interruptor se activa cuando la preforma o la botella no sea expulsada correctamente de la máquina.
- Si las preformas no fueron inyectadas en su totalidad: ajustar al límite de carrera de la carga de material del husillo moviendo el sensor de límite de carga.
- Si el husillo inyecta con dificultad, aumentar la presión hidráulica de inyección para vencer la inercia del husillo en las primeras inyecciones del arranque de la máquina.

La operación de moldeo manual de preformas es un método necesario en un arranque para garantizar la inyección correcta de preformas y hacer paradas seguras entre inyecciones para corregir detalles o retirar residuos de material adheridos a las piezas del molde de inyección.

Además, ayuda al comienzo de la estabilización térmica de la máquina y moldes instalados para aportar una mejor estabilidad al moldeo de las botellas.

Los ajustes necesarios a los sistemas conllevan una serie de manipulación de válvulas y reguladores e ingreso de valores en la interfaz los cuales dependen del diseño de la preforma y la geometría del envase final. Es necesario basarse en los principios técnicos tanto de las resinas como de la maquinaria industrial para hacer estos ajustes cuando no se cuenta con una guía hecha por el fabricante o se tienen muchos problemas de procesamiento.

Los detalles de la calibración de la máquina se presentan en el siguiente capítulo.

5. CONFIGURACIÓN DE LA MÁQUINA SEGÚN DIFERENTES PRODUCTOS

La configuración de todos los parámetros de la máquina depende totalmente de las características del producto que se está fabricando, una de las más importantes es el peso del mismo ya que se refiere directamente al volumen de plástico utilizado para inyectar las preformas que luego serán botellas plásticas. La forma en que el peso de la botella puede variar es mediante el espesor de pared de la preforma inyectada el cual tiene efectos en el estirado axial de la preforma.

El peso de la botella tiene efectos en:

- Los parámetros de secado de la resina.
- El tiempo de ciclo de la máquina durante la inyección, ya que el ciclo de la misma es gobernado completamente durante la etapa de inyección.
- La demanda de presión hidráulica en las diferentes etapas de la secuencia de inyección.
- La temperatura de la máquina y del agua de refrigeración de moldes.
- Los temporizadores y presiones de soplado en la estación de soplado.

La diversificación de producción de botellas PET supone que una preforma es capaz de convertirse en cierta cantidad de botellas con diferentes diseños y

dimensiones que concuerden con las propiedades requeridas para lograr el estirado axial y radial correctos, sin embargo, el perfil térmico de la preforma influye en la forma en que el plástico se distribuye y puede que ciertas condiciones sean favorables para un tipo de botella y perjudiciales para otras.

La máquina de inyección con soplado de orientación biaxial Nissei ASB 50MB V2 tiene las siguientes características según las especificaciones técnicas:

Tabla XII. **Especificaciones técnicas**

ITEM	Valor
Capacidad de inyección por disparo	152 cm ³
Diámetro de husillo	44 mm
Desplazamiento máximo de husillo	100 mm
Presión hidráulica máxima del sistema	13,7 Mpa
Capacidad de la tolva del secador	100 Kg

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2019.

Se supone para este capítulo una preforma con las siguientes propiedades para definir el ajuste de los sistemas de la máquina:

- Masa: 20,0 g
- Longitud de la preforma: 80,0 mm
- Diámetro en la zona media: 24,0 mm
- Tiempo de ciclo estimado de la máquina: 14,0 s

5.1. Secado

El secado de la resina PET es el primer paso para la fabricación de botellas y constituye el 80 % de la operación de moldeo de botellas de calidad.

El secado correcto del PET incluye parámetros muy importantes que tienen que ser configurados en los equipos para que este logre su objetivo:

- Tiempo de residencia
- Temperatura de proceso

Los otros dos parámetros importantes en el secado del PET son el flujo de aire y la sequedad del aire, pero los mismos no dependen directamente de la calibración de la máquina para su funcionamiento si no del estado de los equipos y del mantenimiento que se ejecute.

El tiempo de residencia y la temperatura de proceso están directamente relacionados. El tiempo de residencia se refiere al tiempo en el que el material que recién ingresó a la tolva del secador, tardará en llegar a la unidad de inyección y se fundirá cuando la máquina está trabajando en ciclo continuo. Si se pudiera observar un grano del PET viajando desde la alimentación de la tolva hasta la zona de alimentación del husillo de la unidad de inyección y medir el tiempo en el que ejecuta ese recorrido, ese dato representa el tiempo de residencia en la tolva del secador ya que representa tiempo de secado del material por el flujo de aire que es continuo.

Este tiempo depende directamente de la masa de plástico inyectada durante cada ciclo de la máquina. Mientras más pesada sea la preforma, el husillo debe

fundir más material, lo que supone que en cada ciclo de carga se estará tomando más granos de la tolva para su fundición.

El secado es el primer paso durante el proceso de fabricación de botellas PET por lo que la configuración de la temperatura de proceso debe ser correcta para evitar en su totalidad los problemas derivados de un secado incorrecto en el proceso.

El análisis del secado de la resina en el secador parte de la masa de plástico que será inyectada en cada disparo, la cual se obtiene de multiplicar la masa de cada preforma por el número de cavidades para las que está fabricado el molde de inyección.

Para la preforma en cuestión, según la ecuación #1 (sección 2.2) el tiempo de residencia del material en el secador es:

$$t = \frac{100}{\left(\frac{3\ 600}{14}\right) * \left(\frac{4 * 20}{1\ 000}\right)} = 4,86\ h$$

El tiempo en el que el PET residirá en la tolva del secador desde su ingreso hasta la salida de la misma es de 4,86 h horas, este tiempo es el tiempo de residencia del PET.

Según la figura #6 (sección 2.2) para un tiempo de 4,86 horas la temperatura de proceso es de 165 °C.

Antes del arranque de la máquina se debe cumplir con el tiempo de secado reglamentario de 4 horas como mínimo a la temperatura de proceso calculada para el producto que se esté fabricando.

La temperatura de proceso anterior debe ser configurada en el secador para iniciar el proceso de secado 4 horas antes del arranque (sección 4.11).

Al cumplirse esto se concluye que el parámetro más importante para un buen secado es la temperatura de proceso ligada a un tiempo de residencia que el producto que se esté fabricando establece según sus propiedades.

5.2. Ajustes del sistema hidráulico

El sistema hidráulico de la máquina de inyección con soplado de orientación biaxial se encarga de los movimientos de la unidad de inyección (husillo) y de la unidad de mesa rotativa (molde de inyección). El ajuste del sistema hidráulico requiere una correcta calibración de las presiones de operación de los sistemas para lograr que la inyección produzca el perfil térmico de la preforma deseado y favorezca el estirado biaxial.

La unidad de inyección es la parte más importante accionada por el sistema hidráulico por tratarse de la etapa en donde se logra el 80 % del moldeo por inyección y estirado biaxial de botellas PET mediante toda la secuencia de inyección y soplado. En cambio, la unidad de mesa rotativa utiliza la presión hidráulica para abrir y cerrar los moldes de inyección y de soplado durante la operación automática.

El primer dato a considerar para el ajuste de la unidad de inyección es el tamaño de disparo del husillo según la ecuación #2 de la sección 2.3.

$$td = \frac{4 * 80}{\pi * 4,4^2 * 1,2} = 4,38 \text{ cm} = 43,8 \text{ mm}$$

El desplazamiento del husillo o tamaño de disparo es de 4,38 cm. La posición 0 cm representa el husillo en su posición final delantera, es decir que ninguna cantidad de plástico exista entre este y el cañón. Este valor es muy importante para configurar la inyección correcta de las preformas y evitar rebabas o excesos de plástico en el cuello, disparos cortos: material faltante por inyectar que puede no llegar a formar la boquilla del todo provocando fugas del líquido que contenga la botella, entre otros.

Dado que la máquina tiene una capacidad máxima de inyección de plástico, es debido conocer el porcentaje de ocupación de la máquina con el producto que trabaje utilizando la ecuación 6 de la sección 2.3.

$$\%Oc. = \left(\frac{4,38 \text{ cm}}{10 \text{ cm}} \right) * 100 = 43,80 \%$$

La máquina trabaja a un 43,80 % de su capacidad de inyección con la preforma en cuestión de este estudio el cual se encuentra en el rango ideal para evitar problemas de moldeo por inyección.

Según la ecuación 5 de la sección 2.3. el cojín es de:

$$Cojin = 0,27 * 44 \text{ mm} = 12 \text{ mm}$$

El cojín es de 12 mm, aproximado por temas de visualización en la escala graduada de la ventana de visualización de sensores de posición del husillo. Utilizando la tabla #2 de la sección 2.3 y con el dato de que el diámetro del husillo de la máquina es de 44 mm, el tamaño del retroceso es de:

$$Retroceso = 44 * 0,10 = 4,4 \text{ mm}$$

Según la ecuación #3 de la sección 2.3 el punto de conmutación V_p es:

$$V_p = 0,10 \times 43,8 \text{ mm} + 12 \text{ mm} = 16,3 \text{ mm}$$

La posición de dosificación, en donde el husillo deja de girar según la ecuación #4 de la sección 2.3 es:

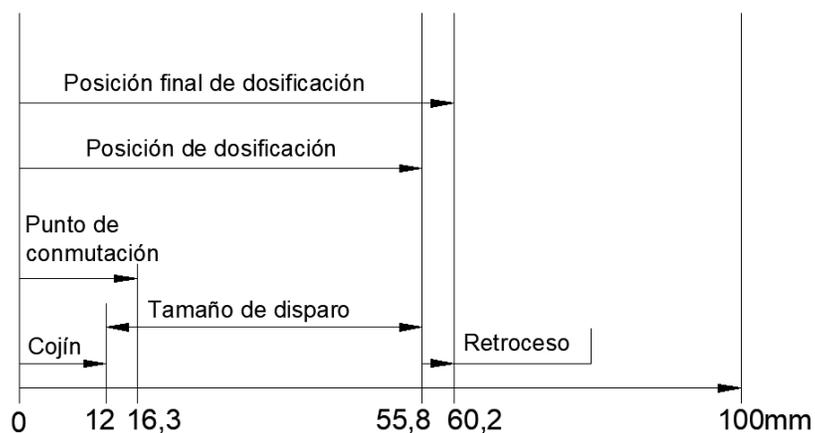
$$43,8 \text{ mm} + 12 \text{ mm} = 55,8 \text{ mm}$$

Con estos datos, la posición final de dosificación es:

$$12 \text{ mm} + 43,8 \text{ mm} + 4,4 \text{ mm} = 60,2 \text{ mm}$$

El gráfico de posiciones del husillo para la preforma en estudio es la siguiente:

Figura 54. **Gráfico de posiciones de inyección en milímetros**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCad 2019.

La interpretación de la figura 54 es la siguiente:

El cojín será de 12 mm en la escala de posiciones del husillo. En la posición 16,3 mm la máquina ejecutará el cambio a sostenimiento avanzando 4,3 mm hasta la posición 12,0 que es la posición final de la inyección. El tamaño de disparo está comprendido entre las posiciones 55,8 y 12,0 y tiene un tamaño lineal de 43,8 mm, el retroceso se ejecuta de la posición 55,8 hasta la posición 60,2 y tiene un tamaño de 4,4 mm. La posición final de dosificación del husillo que también representa la posición del inicio de la inyección es de 60,2 mm.

Una vez conocidas las posiciones del husillo durante los diferentes instantes de la secuencia de inyección se deben configurar las presiones hidráulicas que corresponden a cada uno de estos.

- Inyección

La presión de inyección o llenado está comprendida entre la posición 60,2 mm y 16,3 mm y debe ser configurada según lo requerimientos de moldeo de velocidades de inyección. Como regla general se deben usar valores altos: de 10 Mpa a 12 Mpa para no aumentar el ciclo de la máquina, pero la ventana de procesamiento es amplia dependiendo de las características de la botella fabricada.

Con la válvula V75 y el temporizador de inyección rápida (sección 5.6.) se debe ajustar la apertura que controla la velocidad de inyección con base en la siguiente afirmación:

Mayores velocidades de inyección aumentan los espesores de pared de la botella en áreas superiores cercanas a la boquilla; menores velocidades de

inyección aumentan los espesores de pared en áreas inferiores de la botella cercanas al fondo. Mayores velocidades de inyección suponen mayor presión y menores velocidades de inyección suponen menores presione. Valores ideales de presión y velocidad de inyección para comenzar el procesamiento puede ser de 8,0 Mpa y 1,5 a 3 segundos de llenado (sección 5.6.) respectivamente.

Como la presión de sostenimiento no debe ser mayor al 50 % de la presión de inyección, se configura en un rango de 4,0 Mpa a 5,0 Mpa. Este valor no mayor que el 50 % de la presión de inyección evita rebabas y excesos de plástico en la preforma.

La contrapresión del husillo depende del material o de la mezcla que se esté utilizando, usualmente la contrapresión del husillo se configura en 0 Mpa, y puede aumentarse hasta 1,5 Mpa cuando se utilizan colorantes.

Así los datos para la inyección de la preforma en cuestión de 4 cavidades son:

Tabla XIII. **Modelo de ajuste de valores de inyección**

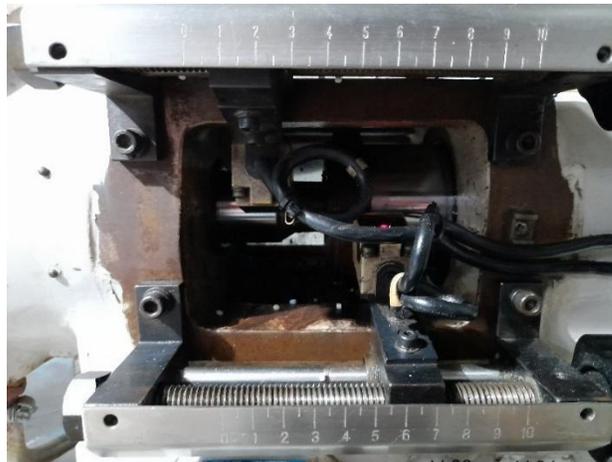
Variable	Valor
Inicio de la inyección	60,2 mm
Posición de conmutación	16,3 mm
Cojín	12,0 mm
Presión de inyección	8,0 mm
Presión de sostenimiento	4,0 mm
Presión de contrapresión	0,0 mm

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2019.

El ajuste de las posiciones de inicio de la inyección y sostenimiento se hace manualmente con las perillas de los sensores de proximidad del husillo que se

muestran en la siguiente figura. El valor en la escala graduada en las reglas superior e inferior se lee en la esquina derecha del soporte del sensor.

Figura 55. **Sensores de proximidad de posiciones del husillo**



Fuente: empresa plásticos Makilgar, S.A.

5.3. Ajuste del sistema neumático

El primer paso para el ajuste del sistema neumático es configurar la presión de operación a unos 120 Psi (o 0,97 Mpa) desde el regulador principal para asegurar el funcionamiento de los actuadores de operación de la máquina. Se debe tomar en cuenta que la misma consume 385 L/min de aire a esa presión por lo que el suministro de aire tiene que ser mayor a este valor.

Se debe comprobar que el suministro de aire de soplado sea mayor a 450 L/min de aire y esté en una presión de mínima 350 Psi (2,45 Mpa) valor que tiene que ser calibrado desde el regulador AV25 del circuito neumático de soplado.

La presión y flujo de soplado primario son los siguientes puntos de ajuste del sistema neumático; desde el regulador AV24 se ajusta la presión de soplado primario al 50 % de la presión de soplado secundario, 175 Psi (1,2 Mpa) y el regulador de flujo AV18 se debe ajustar al 50 % de apertura al iniciar el arranque de la máquina.

La apertura del regulador de flujo del soplado primario puede causar variaciones en los espesores de pared de la botella, por lo que el ajuste dependerá de los mismos. Mayores aperturas del regulador endurecerán la parte superior de la botella y menores aperturas del regulador endurecerán la parte inferior de la botella.

Parte del sistema neumático es el ajuste de las puntas de las varillas de estirado y los fondos del envase, esta separación tiene que ser de 0,5 mm para preformas de hasta 20 g y de hasta 1 mm máximo para preformas más pesadas y de espesores de pared mayores.

Los datos de ajuste del sistema neumático para la preforma en cuestión son los siguientes:

Tabla XIV. **Modelo de ajuste del sistema neumático**

Variable	Valor
Presión de operación	120 Psi
Presión de pre soplado	175 Psi
Flujo de pre soplado	50 %
Presión de soplado	350 Psi

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2019.

Estos valores iniciales de ajuste permiten la puesta en operación de la máquina para el siguiente control de la calidad y propiedades de la botella.

El sistema neumático se encarga del estirado radial y axial de la preforma, por lo que según la ecuación 6 de la sección 2.5 el largo ideal de la botella que se puede fabricar favoreciendo el estirado axial es:

$$Lb = 1,5 (80) = 120 \text{ mm}$$

De la misma manera, la medida máxima del radio ideal de la botella que se puede fabricar favoreciendo el estirado radial de la preforma en cuestión es:

$$Db = 4(24) = 96 \text{ mm}$$

5.4. Ajuste del sistema de refrigeración

El sistema de refrigeración de la máquina está dividido en la refrigeración de moldes y refrigeración del aceite hidráulico por medio del intercambiador. Como primer punto se requiere que la bomba del agua de la torre de enfriamiento fluya a una tasa de 55 L/min y tenga una presión mínima de 40 Psi. Además de esto se requiere que el intercambiador esté en buen estado para mantener el aceite hidráulico a 40 °C.

En la máquina también hay actuadores que requieren agua de refrigeración de la torre de enfriamiento los cuales son:

- El pin de cierre de la boquilla de la unidad e inyección.
- La zona de alimentación del cañón.

- Base del canal caliente u horno.

Todas estas partes refrigeradas requieren de conexiones de entrada y salida y un mismo diámetro de manguera para mantener un flujo constante de retorno en cada salida de las flautas de entrada y salida. Las líneas requieren ausencia de obstrucciones, de lo contrario el caudal de agua se ve afectado.

En el sistema de refrigeración de moldes el agua se obtiene de un sistema de refrigeración de agua, el cual tiene que entregar una presión de al menos 60 Psi y 40L/min. El caudal de agua es muy importante para optimizar la transferencia de calor del PET fundido en la etapa de inyección y evitar la cristalización por enfriamiento lento.

El flujo también debe ser constante para no afectar la refrigeración del molde de inyección, modificando el perfil térmico de la preforma y por consiguiente las propiedades y características de la preforma. Una mala refrigeración del suministro de agua de refrigeración de moldes puede indicar problemas con el equipo periférico encargado de la misma.

Normalmente estos sistemas controlan la temperatura del agua por medio de controladores de temperatura, este se ajusta de 10 °C a 15 °C. La línea de flujo de agua de refrigeración de moldes se encarga de refrigerar el molde de inyección de la preforma.

Para la preforma en cuestión, los ajustes del sistema de refrigeración son los siguientes:

Tabla XV. **Modelo de ajuste del sistema de refrigeración**

Variable	Valor
Presión de agua de torre de enfriamiento	40 Psi
Presión de agua de refrigeración de moldes	60 Psi
Flujo de agua de refrigeración de moldes	40 L/min
Temperatura de agua de refrigeración de moldes	10 – 15 °C

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2019.

5.5. **Temperaturas de proceso**

Las temperaturas de proceso de la máquina (además de la temperatura de proceso del secado del PET) son muy importantes para la estabilidad térmica del proceso. Un proceso estable permite trabajar con viscosidades de plástico fundido estables en las zonas de plastificación y obtener curvas de presión y velocidad también estables.

El perfil de temperaturas del husillo tiene una forma ascendente y el canal caliente tiene una temperatura mayor que la del husillo por la ausencia de calor generado por fricción entre el husillo y el cañón. Las temperaturas de proceso de la unidad de inyección para la preforma en cuestión son las siguientes.

Tabla XVI. **Modelo de ajuste de temperaturas de proceso**

Horno 3	Horno 2	Horno 1	Boquilla	Frontal	Media	Alimentación
290 °C	290 °C	290 °C	280 °C	280 °C	275 °C	270 °C

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2019.

Las temperaturas de proceso aseguran un perfil de temperaturas ascendentes y estables para la plastificación correcta del PET y un flujo continuo y estable dentro de las tres zonas del horno o canal caliente.

La etapa de acondicionamiento es la otra zona en la que se utiliza como norma general aumentar la temperatura de la preforma en donde la botella presenta más rigidez y disminuir la temperatura de la preforma en donde la botella presenta debilidad. Esto se logra aumentando o disminuyendo la temperatura de las cubas de calentamiento a conveniencia del formado de la botella.

El corazón de acondicionamiento, que es calentado por medio de aceite y una máquina controladora de acondicionamiento de moldes, también requiere ajuste de temperatura. La temperatura de la preforma se encuentra en la temperatura de transición vítrea del PET, entre 70 y 120 °C, entre menor sea la temperatura del corazón de acondicionamiento, más calor estará retirando de la parte inferior de la preforma y puede aportar para mejorar las condiciones de estirado axial y radial de la preforma. Los ajustes de temperatura de la estación de acondicionamiento para la preforma en cuestión están comprendidos de la siguiente forma:

Tabla XVII. **Modelo de ajuste de temperaturas de la estación de acondicionamiento**

Variable	Valor
Temperatura de zona superior (cubas)	100 – 120 °C
Temperatura de zona media (cubas)	80 – 100 °C
Temperatura de zona inferior (cubas)	60 – 80 °C
Temperatura de corazón de acondicionamiento	≈80 °C

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2019.

Estos ajustes pueden variar dependiendo de la calidad y características de la botella, sobre todo de los espesores de pared en ciertas zonas y se requiere criterio fundamentado para hacer ajustes que permitan cambiar esas condiciones irregulares de la botella y mejorar su calidad y propiedades como resistencia, consistencia y apariencia.

5.6. Temporizadores

Los temporizadores de la máquina se dividen en 3 grupos: inyección, soplado y acondicionamiento.

Temporizadores de inyección: estos determinan los tiempos en segundos que tienen relación con la etapa de inyección y son los siguientes:

Tabla XVIII. Descripción de los temporizadores de inyección

Temporizador	Descripción
Inyección	Tiempo total que tarda la inyección desde su inicio hasta el final de la etapa de sostenimiento.
Enfriamiento	El tiempo de recuperación del husillo para que pueda cargarse y enfriar la preforma.
Inicio de la inyección	Tiempo de retraso del inicio de la inyección, la manipulación de este temporizador es delicada ya que modifica directamente el ciclo de la máquina. Se recomienda configurar máximo 0,5 s.
Inicio del cierre de la boquilla	Tiempo de retraso del inicio de la inyección, la manipulación de este temporizador es delicada ya que modifica directamente el ciclo de la máquina.

Continuación de la tabla XVIII.

Succión o retroceso	<i>Tiempo de actuación del retroceso del husillo. Este tiempo tiene que ser corto para evitar el exceso de avance hacia atrás sin rotación e introducir aire en las cavidades. Si el tiempo es insuficiente puede provocar cordones o puntas de inyección cristalizadas. Un valor normal para este temporizador es entre 0,1 y 0,2 s.</i>
---------------------	---

Fuente: NISSEI ASB MACHINE CO., LTD. *Manual de operación.* p 84.

Los temporizadores de soplado modifican los tiempos que están relacionados con la estación soplado, son los siguientes:

Tabla XIX. **Descripción de los temporizadores de soplado**

Temporizador	Descripción
Soplado	Es el tiempo de soplado de alta presión desde que inicia el soplado secundario. Este tiempo tiene que ser configurado como el máximo posible, esto mejorará el formado de detalles, ángulos u otros espacios reducidos.
Inicio del soplado primario	<i>Este es el tiempo de retraso del inicio del soplado primario que empieza a correr cuando se ejecuta el cierre del molde de soplado.</i>
Inicio del soplado secundario	Este tiempo controla el retraso del inicio del soplado secundario a partir de que finalizó el tiempo de actuación del soplado primario.
Escape	Este tiempo controla el escape del aire de soplado dentro de la botella al finalizar el soplado secundario. Si es muy pequeño puede ocasionar blanqueamiento en la botella. Un valor recomendado es de un segundo.

Continuación de la tabla XIX.

Inicio de subida de la varilla de estirado	<i>Este tiempo controla el retraso de la subida de las varillas de estirado después de que han completado el estirado de la preforma. Este tiempo debe ser solo lo suficientemente largo para centrar el punto de inyección en el fondo del molde de soplado. No debe ser muy reducido, un valor correcto se encuentra entre 1,5 y 2 s.</i>
--	---

Fuente: NISSEI ASB MACHINE CO., LTD. *Manual de operación.* p 85.

Los temporizadores de acondicionamiento controlan los actuadores de dicha etapa para la modificación del perfil térmico de la preforma.

Tabla XX. **Descripción de los temporizadores de acondicionamiento**

Temporizador	Descripción
Cuba arriba	Tiempo en el que las cubas de acondicionamiento
Inicio de subida de la cuba	Tiempo de retraso del inicio del ascenso de la cuba de calentamiento
Corazón abajo	Tiempo de bajada del corazón de acondicionamiento
Inicio de bajada de corazón	Tiempo de retraso de bajada del corazón de acondicionamiento.

Fuente: NISSEI ASB MACHINE CO., LTD. *Manual de operación.* p 87.

Los dos actuadores de la etapa de acondicionamiento contienen tiempo de actuación y de retraso, esa estación modifica el perfil térmico de la preforma por lo que los tiempos de actuación y retraso según el ciclo permiten un ajuste del perfil que favorezca el estirado. Tiempos intermedios de actuación puede ir de 3

a 5 segundos con la ventana de aumentar o disminuir según las necesidades y las condiciones de moldeo.

El modelo de ajuste de los temporizadores para el moldeo de la preforma en cuestión es el siguiente.

Tabla XXI. **Modelo de ajuste de temporizadores de proceso**

Temporizador	Valor
Inyección	5 – 6 s
Enfriamiento	2 – 4 s
Inicio de la inyección	0,4 s
Inicio del cierre de la boquilla	0,4 s
Succión	0,2 s
Soplado	Máximo según ciclo
Inicio del soplado primario	0,2 s
Inicio del soplado secundario	0,4 s
Descompresión	1,0 s
Inicio de subida de la varilla	1,5 s
Cuba arriba	4,0 s
Inicio de la cuba arriba	0,0 s
Corazón abajo	4,0 s
Inicio del corazón abajo	0,0 s

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2019.

Este modelo de temporizadores permite el arranque de una máquina y el punto de partida de la ventana de procesamiento tan vasta en el moldeo por inyección y soplado de orientación biaxial del PET. Las condiciones de los moldes, equipos periféricos, máquina como tal y condiciones atmosféricas pueden causar variaciones imperceptibles para el operador de la máquina en ciertas estaciones y el criterio humano debe dominar las posibles causas de problemas de moldeo.

Comprendiendo la forma y el mismo actuar de todos los componentes de la máquina y del molde, los problemas de moldeo pueden llegar a controlarse a un nivel óptimo de eficiencia de procesamiento.

Los conocimientos técnicos necesarios para la operación profesional de la máquina son fundamentales para el moldeo correcto del PET desde el punto de vista de procesamiento. En plantas de fabricación de envases PET hasta el 70 % de los problemas de moldeo pueden ocasionarse por desconocimiento de los principios técnicos necesarios.

5.7. Variables para control de equipos periféricos

Los equipos periféricos que trabajan en conjunto con la máquina de inyección con soplado de orientación biaxial son 4:

- Compresor de baja presión
- Compresor de alta presión
- Torre de enfriamiento
- Chiller de refrigeración de agua

El control de estos equipos es importante para el buen funcionamiento estable de la máquina. Las variables de funcionamiento permiten controlar el suministro correcto de agua o aire necesarios y posibles fallas en los mismos, lo que afectaría de manera directa el molde por inyección o por soplado.

- Compresor de baja presión

El compresor de baja presión es el encargado de suministrar el aire comprimido de operación de todos los actuadores neumáticos de la máquina y secador de resina. La presión máxima para la operación de la máquina es de 0,97 Mpa o 140 Psi; un rango correcto para minimizar los problemas más comunes de 100 Psi a 140 Psi.

Una caída en la presión de operación puede ocasionar problemas de moldeo de soplado como:

- Caída de la temperatura de secado debido al presostato de aire comprimido de operación de los cilindros de cambio de aire de proceso y regeneración del secador de PET.
- Poca fuerza de estirado axial de la preforma; este cambio afecta directamente la velocidad de estirado de la preforma que, con los temporizadores de soplado primario y secundario establecidos, cambiaría la distribución de plástico en el cuerpo de la botella dando como resultado espesores de pared irregulares y debilidad en las zonas de menor espesor. Este problema es el más importante en cuanto al soplado de orientación biaxial ya que, aunque se tenga un perfil térmico estable y muy bajo gradiente de temperaturas, el estirado deficiente no permitirá el conformado correcto de la botella.
- Una baja frecuente en la presión de aire de operación también puede deberse al dimensionamiento del compresor de baja presión, el cual debe suministrar un mínimo de 385 L/min de aire a la presión de funcionamiento para lograr periodos largos de trabajo sin paros.

El caudal de suministro de aire debe ser mayor a este último valor ya que el consumo varía directamente con el ciclo de la máquina.

La aparición de condensados en las líneas de aire de operación de la máquina puede indicar problemas en el secador de aire del compresor de baja presión, normalmente de tornillo ya que el agua presente en las líneas afecta la lubricación de válvulas y cilindros neumáticos afectando directamente la velocidad de sus movimientos.

- Compresor de alta presión

El suministro de aire de alta presión debe tener una presión de 2,45 Mpa o 350 Psi. Esta presión puede variar de 300 Psi a 350 Psi por los ciclos de arranque del compresor de alta presión. Una caída en el valor de presión de soplado puede indicar problemas en el compresor de alta presión, lo mismo puede causar problemas de formación de los detalles, ángulos o radios de la botella. La presión necesaria puede cambiar dependiendo de la geometría de la botella que se esté fabricando, pero el suministro no debe tener una presión menor a 300 Psi.

Una caída de presión de aire de soplado suministrada por el compresor de alta presión puede causar defectos como:

- Mal formado de los detalles de la botella mayormente cuando estos son más marcados.
- Variaciones en la capacidad de llenado de la botella final; esto tiene relación directa con el defecto anterior pero una deformación puede ser imperceptible para el ojo humano pero la capacidad de llenado insuficiente revelaría problemas de moldeo por soplado.

- Mala distribución del plástico por diferente flujo de aire de pre soplado y soplado. Con una diferencia de presión entre la preforma a soplar el suministro de aire se ve afectado el flujo de pre soplado el cual forma el 90 % de la botella antes del soplado secundario de mayor presión. Si el flujo de pres soplado disminuye, la temperatura del plástico en el estirado puede decaer antes de formar la totalidad del envase, esto implica que los detalles no serán bien formados y capacidad insuficiente.
- Torre de enfriamiento

La torre de enfriamiento suministra agua a una temperatura ambiente para la refrigeración del aceite del sistema hidráulico y ciertas piezas de la unidad de inyección, como la boquilla, y el canal caliente. La variable para controlar el funcionamiento de la torre es la presión del sistema que debe ser por lo menos 60 Psi y al menos 55 L/min para asegurar la transferencia de calor.

Una caída en la presión del suministro de agua de torre de refrigeración puede indicar problemas en la bomba de la misma por tuberías o mangueras taponadas, diámetros de tubería o manguera muy reducidos o mal funcionamiento del motor de la misma, lo cual causaría problemas como:

- Elevación de la temperatura del aceite hidráulico: este fenómeno es muy perjudicial para el mismo aceite ya que comienza un proceso de degradación por encima de los 40 °C y pierde sus propiedades; también cambia la viscosidad que es la propiedad más importante para un sistema hidráulico. Al aumentar la temperatura del aceite la viscosidad se verá reducida y la transmisión de presión en los actuadores del sistema hidráulico se verá afectada, con esto puede

variar el perfil de velocidad de inyección, la velocidad angular de plastificación, la presión calibrada de sostenimiento y la velocidad de los movimientos de la máquina, afectando directamente el moldeo por inyección, el perfil térmico de la preforma y el ciclo de la máquina.

- *Chiller* de refrigeración de agua

El *chiller* de refrigeración de agua suministra agua refrigerada al molde de inyección. Las variables de control de este equipo son la temperatura de agua de refrigeración, la cual se debe encontrar en un rango de 10 a 15 °C; la presión de agua de refrigeración que debe ser de al menos 60Psi y el caudal que debe tener al menos 55 L/min.

El rango de temperatura puede variar dependiendo de los requerimientos de moldeo por inyección de cada producto o botella a fabricar. También depende del estado de los moldes y el material de fabricación de acuerdo a la conductividad térmica.

Alteraciones en las variables del sistema de agua de refrigeración de moldes puede causar los siguientes problemas:

- Alteración del perfil térmico de la preforma, lo que conlleva alteración en los espesores de pared de la botella y debilidad en ciertas zonas.
- Aumento del ciclo de la máquina.
- Calidad insuficiente de la preforma.

- Cristalización en la preforma lo que se observa como un blanqueamiento a causa del enfriamiento lento.
- Posibles obstrucciones en las tuberías o mangueras de suministro a la máquina si se trata de una caída de presión.
- Disminución en la tasa de transferencia de calor entre la preforma y el molde de inyección si se trata de un flujo insuficiente, alterando el perfil térmico, el ciclo y la calidad.
- Fallas en el compresor del sistema de refrigeración del equipo al tratarse en un aumento de temperatura mayor al rango necesario.

Los instrumentos de la máquina son los que permiten visualizar el estado de funcionamiento de la máquina y su estabilidad funcional y térmica. Un chequeo periódico de todas estas variables permite asegurar el funcionamiento estable de la máquina y reducir al mínimo las variaciones de la configuración y distribución del plástico a lo largo del cuerpo de la botella y por ende propiedades estéticas y mecánicas como resistencia y capacidad.

5.8. Instalación de instrumentos para control

Los instrumentos de control permiten conocer el valor de las variables necesarias para el buen funcionamiento de la máquina y por consiguiente la calidad de las botellas fabricadas. No todos los instrumentos necesarios están incluidos en la máquina ya que los suministros de equipos periféricos cambian de una empresa a otra. Esta es la clase de información faltante que normalmente se omite en las empresas en las que el empirismo domina el nivel operativo de sus plantas y obstruye el crecimiento y mejora integral de los diferentes procesos.

La instalación de tales instrumentos resulta ser entonces una tarea de la empresa que adquiere la máquina con fines de operación técnica y profesional. Algunas variables son vitales para la operación correcta de la máquina como las temperaturas de la unidad de inyección, la temperatura de proceso de secado del PET o la temperatura del horno de inyección. Todas estas temperaturas pueden ser leídas en los controladores de temperatura del panel de control de la máquina o secador de resina.

Algunas variables también son muy importantes como la presión del agua de refrigeración de moldes y de aceite hidráulico o la temperatura de punto de rocío del PET al cumplir con el ciclo de secado antes de ser procesado.

El primer sub proceso en el procesamiento del PET para la fabricación de botellas es el secado del mismo. Se sabe que las variables para un buen secado son temperatura de proceso, flujo de aire y sequedad del aire, pero para un control completo del equipo secador de resina se requiere conocer otra variable para descartar problemas de secado y es la temperatura de rocío del PET, la cual tiene que estar en $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Tal variable es posible controlarla con medidores de punto de rocío o higrómetros. Igualmente, importante es la instalación de manómetros de presión para el agua de refrigeración de moldes y de enfriamiento del aceite hidráulico, tales instrumentos permiten visualizar las presiones de suministro de aguas que equivalen a 60 psi para ambos casos. La mejor ubicación para estos medidores es en el bloque de distribución de líneas de agua a la entrada de la misma. La figura 57 muestra una imagen de las líneas de agua de la máquina y la ubicación del manómetro.

Figura 56. Líneas de agua de la máquina



Fuente: empresa plásticos Makilgar, S.A.

En la figura 56, la línea de entrada de agua, y que tiene instalado el manómetro, es la superior, y la inferior es el retorno.

La importancia de la colocación de los medidores de presión en la entrada de la máquina radica en las pérdidas de energía piezométrica debida a la longitud de recorrido del agua y las pérdidas de carga singulares causadas por los accesorios de la instalación mecánica de la línea de refrigeración.

La distancia a la que se encuentre instalado el equipo periférico de refrigeración, ya sea la torre de enfriamiento o el *chiller* de refrigeración, depende de la instalación de la planta de producción. Asimismo, la máquina puede contar con una torre y un *chiller* de enfriamiento de capacidad relativamente baja y que esté instalado solo para esa máquina. La instalación mecánica tanto neumática como hidráulica puede ser muy variada de acuerdo a cada planta de producción, pero el principio a cumplir es el mismo, medir la presión de agua en la entrada de

la máquina arroja un valor más real de la presión de agua de refrigeración a la que están sometidas las piezas del molde o partes de la máquina después de haber experimentado la caída de presión por longitud y accesorios.

El manómetro recomendado para la instalación en la máquina puede ser de tubo *bourdon* con alcance de 100 Psi y rango de 0 a 100 Psi.

El sistema neumático normalmente lleva instalado sus medidores de presión (figura 21, sección 3.3) por tratarse de valores que tienen que ser tomados en cuenta como parámetros para la fabricación de diferentes botellas, y por deberse a la unidad de mantenimiento instalada en la entrada de aire de operación de la máquina (figura 24, sección 3.3).

La importancia del suministro de agua de refrigeración de moldes radica en que una disminución en la presión del flujo de agua puede afectar directamente la transferencia de calor del plástico recién fundido y las piezas metálicas del molde de inyección, afectando directamente el perfil térmico de la preforma y la calidad de la botella fabricada. La distribución del plástico y los espesores de pared dependen de una lista de parámetros de funcionamiento y siendo dos de estos la presión y el caudal del agua de refrigeración de moldes, resultan ser estos valores que deben ser constantes y controlados para minimizar los defectos de inyección de las preformas.

- Medidor de punto de rocío o higrómetro.

El primer sub proceso en el procesamiento del PET es el secado. Los parámetros clave para un buen secado del PET son: flujo de aire, temperatura del aire de proceso, tiempo de residencia y sequedad del aire.

El flujo de aire está dado por la capacidad del *blower* instalado en la máquina, el cual, a menos que tenga una falla entrega el flujo de aire necesario para el secado ya que opera bajo el valor de diseño.

La temperatura del aire de proceso y el tiempo de residencia en la tolva de secado dependen de las condiciones y requerimientos de inyección en cada producto como las propiedades físicas de la preforma y el ciclo de la máquina. Estos dos parámetros son configurables por el operador de la máquina directamente.

La sequedad del aire es el cuarto parámetro más importante para un buen secado del PET y se mide con la temperatura del punto de rocío del mismo.

El punto de rocío, (*dewpoint*) o más exactamente, la temperatura del punto de rocío es una medida del contenido de humedad absoluta del aire. La temperatura del punto de rocío se expresa en °C. Cabe señalar que la temperatura del punto de rocío es una medida de humedad y no es una temperatura real. Más bien es la temperatura a la que el aire está 100 % saturado con vapor de agua. En consecuencia, para cada temperatura de punto de rocío, hay un contenido de humedad específico. Cuando la temperatura de una superficie cae por debajo del punto de rocío el contenido de humedad del aire se condensa.

Cuanto menor sea el contenido de vapor de agua en el aire, menor será la temperatura del punto de rocío. A medida que el aire se vuelve más seco, su punto de rocío disminuye; esto es beneficioso para el proceso de secado de granulados plásticos.

Durante el secado de aire caliente, el punto de rocío depende de las condiciones climáticas del medio ambiente. Mientras que durante el secado en aire seco dentro de límites definidos y en un ambiente cerrado, como el de una tolva de secado, permanece estable independientemente de las condiciones ambientales. Sin embargo, es importante tener en cuenta, que temperaturas muy bajas de punto de rocío requieren un importante consumo de energía para secar el aire.

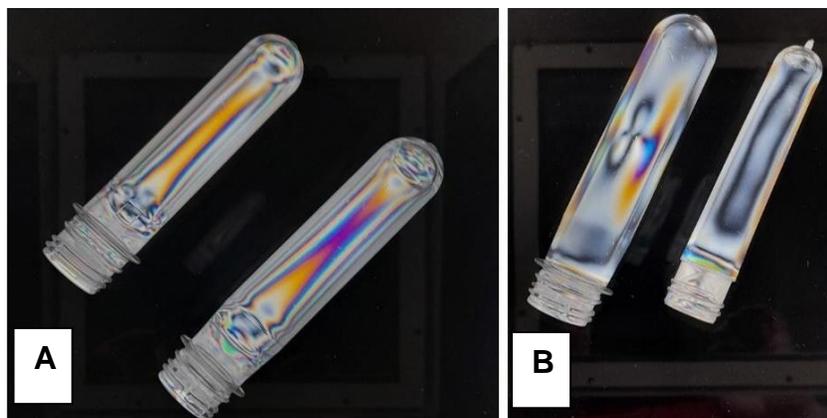
Para secar el PET es suficiente una temperatura de punto de rocío de aproximadamente de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Según muestreos experimentales, a una temperatura de secado constante, las variaciones de temperatura del punto de rocío tienen muy poco impacto en la velocidad de secado. Estas variaciones y la temperatura de secado determinan la humedad residual más baja posible para obtener la sequedad del aire óptima. Para medir la temperatura del punto de rocío del aire, el higrómetro o medidor del punto de rocío es importante en cuanto al control de la sequedad del aire de secado e identificar problemas en alguna etapa del ciclo de secado. Para hacer una medición confiable del punto de rocío son necesarios los siguientes pasos:

- Seleccionar un instrumento con el rango de medición correcta; en este caso un valor máximo mayor a $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Comprender las características de presión del instrumento de punto de rocío. Esto permite establecer los lineamientos de instalación en el circuito de aire de secado.
- Instalación del sensor correctamente; siguiendo las instrucciones del fabricante se define la ubicación correcta del medidor en donde el flujo de aire permita realizar una medición confiable.

Las ventajas que un medidor de punto de rocío presenta son: identificación de problemas de secado que se presenten como defectos en la botella fabricada, identificación de fallas en el secador de resina como fugas de aire de proceso, adición de calor deficiente o incapacidad de las mallas desecantes de extraer la humedad del aire por saturación o término de vida útil.

Un secado deficiente, además de que puede provocar la degradación hidrolítica del PET, puede distorsionar, junto con la configuración de los perfiles térmico y de velocidad de inyección de la preforma, las tensiones internas de las preformas de PET, figura 58. Las tensiones residuales que se producen durante la inyección de la preforma tienen un efecto sobre la resistencia y la distribución del plástico al momento de soplar la botella. Este efecto puede ser positivo o negativo y puede ser la consecuencia de un defecto o mejorar la fortaleza del PET. Por eso es muy importante controlar las mismas.

Figura 57. **Tensiones residuales de preformas PET polarizadas a 90°**



Fuente: empresa plásticos Makilgar, S.A.

La figura 57 muestra dos pares de preformas sólidas a temperatura ambiente que fueron expuestas a luz polarizada a 90°. Los polariscopios son los equipos encargados de generar la luz polarizada que hace posible visualizar las tensiones residuales de las preformas. las preformas pasan a la luz polarizada y muestran los defectos. Estos defectos son el resultado de las reacciones de los polímeros cuando son inyectados en preformas.

El patrón de comparación es proporcionado por el fabricante del polariscopio; como regla general, un patrón uniforme y estable a lo largo de la preforma como el de la figura 61 A es el estándar ideal de una preforma que no presentará alteraciones al momento de soplarla y convertirse en una botella. La figura 61 B muestra dos preformas con distorsiones en el patrón de colores lo que indica tensiones residuales internas irregulares y posibles defectos en las propiedades mecánicas en las paredes de la botella.

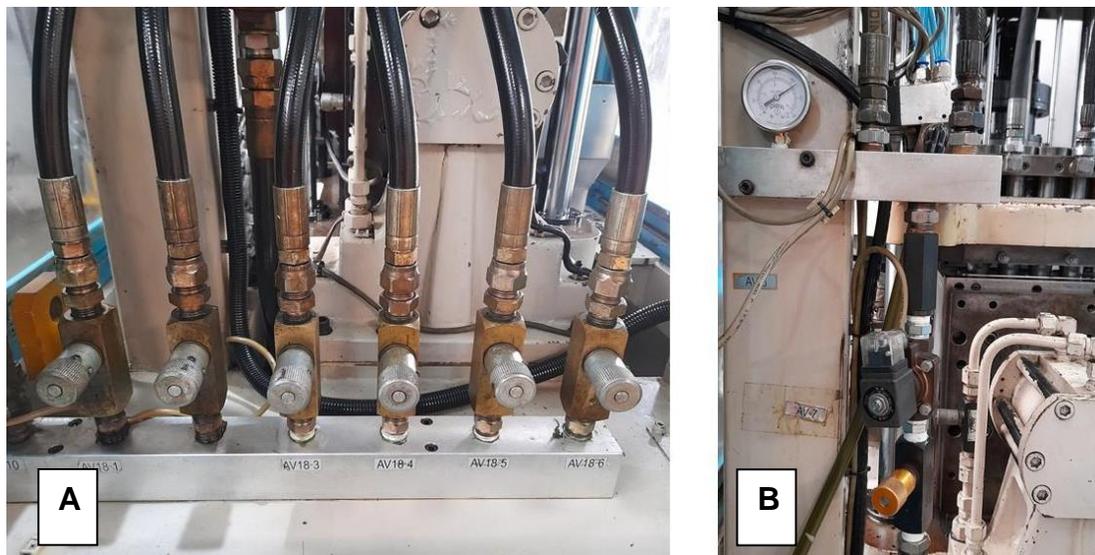
Un polariscopio es un instrumento poderoso en cuanto al control de las características de las preformas inyectadas. Ciertas condiciones como la temperatura del aceite del sistema hidráulico de la máquina de inyección con soplado de orientación biaxial pueden variar en el transcurso de tiempos de servicio largos y pueden ser identificados para evaluar los ajustes necesarios para parametrizar de forma correcta el secado del PET y el perfil de velocidades y presiones de inyección de las preformas.

Cuando se logra una inyección correcta y orientación molecular uniforme del PET en la preforma, logrando obtener una preforma como la de la imagen 58 A, el soplado de la preforma puede ser fácilmente parametrizado de acuerdo a los temporizadores de actuación y presiones de aire. Sin embargo, por las características y geometría de la preforma es posible sea necesario realizar modificaciones en el flujo de aire de pre soplado en la estación de soplado. Según

la figura 25 de la sección 3.3, el regulador de flujo AV18 regula el flujo de soplado primario o pre soplado a todas las cavidades del molde.

Una modificación a ese circuito realizando la instalación de un regulador de flujo por cada cavidad permite un mayor control de la distribución del plástico en las paredes de la botella en cada cavidad, así como resolver problemas de estirado y soplado. La comparación de las dos configuraciones del circuito de aire de presoplado se ilustra en la figura 58.

Figura 58. **Configuración de los circuitos de aire de presoplado**

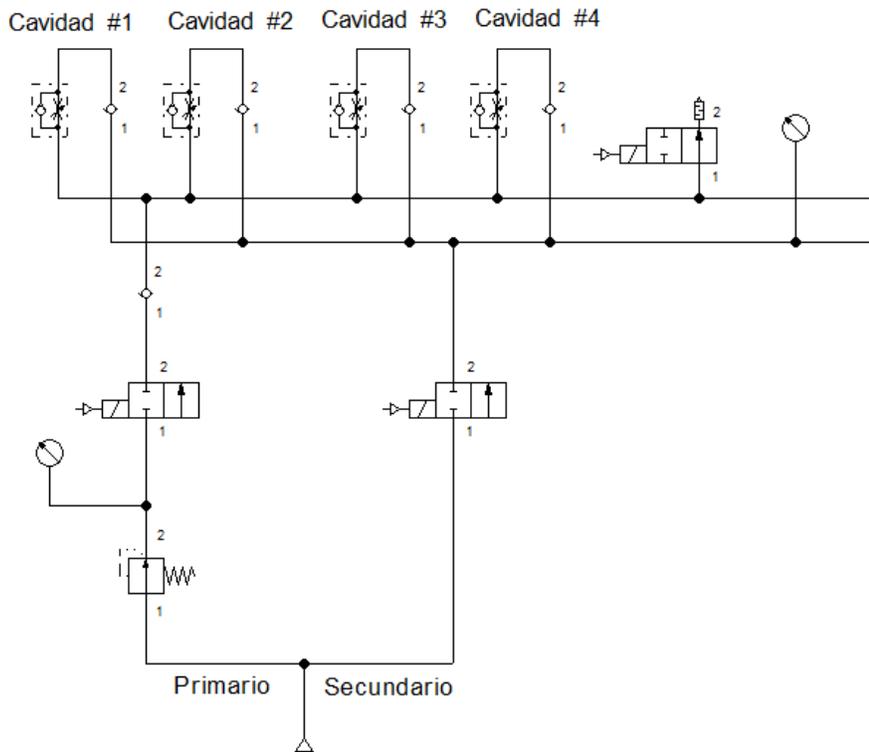


Fuente: empresa plásticos Makilgar, S. A.

La figura 58 A muestra los reguladores de flujo de aire instalados en cada una de las cinco cavidades del molde en una máquina de inyección con soplado de orientación biaxial y en lo que difiere de la figura 58 B.

Se obtiene entonces un circuito neumático de soplado como el de la figura 59.

Figura 59. **Diagrama de circuito de soplado con mayor control de cavidades**



Fuente: elaboración propia, empleando FESTO FluidSim.

El circuito ahora cuenta con un regulador de flujo con antirretorno por cada cavidad. Esta adición de accesorios y el regulador de presión de aire de presoplado, permite un mayor control en el estirado radial de cada botella individualmente. Es muy ventajoso para la eliminación de problemas de espesores de pared que se traducen en sombras y debilidad en ciertas zonas de la botella que pueden ocasionarse por pequeñas variaciones en cada cavidad por

condiciones de refrigeración de la preforma inyectada, desajustes de accesorios en la etapa de acondicionamiento, entre otros.

Los instrumentos para control del funcionamiento de la máquina son la mejor arma para estabilizar la calidad de todas las botellas y obtener un estándar de calidad y propiedades mecánicas, de barrera y estéticas. Los instrumentos son cruciales para comprender las características de cada sub proceso y etapa del molde o por inyección y soplado de orientación biaxial de botellas PET y hacen parte importante de la ventana de procesamiento en máquinas de inyección con soplado de orientación biaxial Nissei ASB 50MB V2.

CONCLUSIONES

1. Siendo el secado del PET el primer subproceso en la fabricación de botellas en una máquina de inyección, con soplado de orientación biaxial Nissei ASB V2 se vuelve necesario su calibración correcta, fundamentada en cálculos algebraicos de acuerdo al producto a fabricar que asegure que la temperatura del proceso y el tiempo de residencia sean los correctos por tratarse de los parámetros más importantes del secado.
2. Parametrizar el moldeo por inyección de preformas PET, requiere la realización de cálculos algebraicos para la ubicación correcta e ideal de las posiciones de los diferentes instantes de la secuencia de inyección y garantiza un 80 % la fabricación correcta de las botella al obtener las propiedades de temperatura y baja cristalización necesarias mediante un buen ajuste de temporizadores, y demás parámetros trabajando en sintonía con los servicios suministrados a la máquina provenientes de los equipos periféricos.
3. El tiempo de ciclo es el mejor aliado en la fabricación de botellas PET en una máquina de inyección ASB V2, la secuencia completa de la inyección gobierna el tiempo de ciclo de producción de la máquina, por lo que reducir segundos valiosos optimizando el perfil de presiones y velocidades de inyección, son una opción para aumentar el volumen de producciones en un tiempo determinado. Pequeñas variaciones causadas por modificar el perfil de velocidades de inyección pueden ser

corregidas modificando el perfil térmico al utilizar la etapa de acondicionamiento.

4. Las operaciones de mantenimiento requeridas de la máquina y su frecuencia de ejecución garantizan que las piezas más importantes, como el husillo, mantengan su buen estado y por consiguiente su capacidad de actuación, plastificar en el caso del husillo, reduciendo defectos causados por funcionamiento de los sistemas en la máquina y evitando bajas en la eficiencia de la misma.

RECOMENDACIONES

1. Determinar la operación de una máquina de inyección con soplado de orientación biaxial Nissei ASB V2 requiere de personal capacitado con conocimientos de procesamiento del PET y operación de maquinaria industrial. Estas condiciones garantizan la eficiencia en el procesamiento y la seguridad del personal técnico de operación.
2. Estudiar las propiedades físicas y químicas del PET para el análisis de causas de defectos encontrados en la fabricación de botellas y generar propuestas de acción, para eliminación de los mismos con una base fundamentada que asegure la solución inmediata.
3. Reconocer que la ventana de procesamiento es amplia para la fabricación de botellas y presenta muchas vías de solución de defectos que deben ser exploradas para resolverlos con ajustes en diferentes etapas del moldeo por inyección y soplado de biorientación.

BIBLIOGRAFÍA

1. ¿CÓMO TRANSPORTAR Y ALMACENAR PREFORMAS PET Y BOTELLAS PET? *Proyectos PET* [en línea]. [consultado el 20 de mayo de 2021]. Disponible en: <https://proyectospet.com/transportar-almacenar-preformas-pet-y-botellas-pet>
2. DEPARTAMENTO TÉCNICO DE AOKI. Botellas de PET: ¿el proceso de dos etapas o el integrado? *Interempresas* [en línea]. 1 de agosto de 2002 [consultado el 20 de mayo de 2021]. Disponible en: <https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/6472-Botellas-de-PET-el-proceso-de-dos-etapas-o-el-integrado.html>
3. Inyección - soplado. *Tecnología de los Plásticos* [en línea]. 26 de marzo de 2012 [consultado el 2 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2012/03/inyeccion-soplado.html>
4. LERMA, José. El mecanismo del husillo. *Interempresas* [en línea]. 11 de julio de 2016 [consultado el 4 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/159596-EI-mecanismo-del-husillo.html>
5. LERMA, José. Temperatura de masa. *Interempresas* [en línea]. 25 de junio de 2018 [consultado el 12 de agosto de 2021]. Disponible en: <https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/219027-2-Temperatura-de-masa.html>

6. LERMA, José. Top parámetros clave de regulación del proceso de inyección. *Interempresas* [en línea]. 16 de mayo de 2018 [consultado el 12 de agosto de 2021]. Disponible en: <https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/216588-Top-parametros-clave-de-regulacion-del-proceso-de-inyeccion.html>
7. Lo mas importante en el moldeo de plásticos. *WordPress.com* [en línea]. 8 de diciembre de 2018 [consultado en julio de 2021]. Disponible en: www.capacitacionplastico.com.
8. MASOOD S.H. y ERBULUT D.U. Optimización de las propiedades de barrera mediante simulación. *Tecnología del plástico* [en línea]. Marzo de 2009 [consultado en agosto de 2021]. Disponible en: www.plastico.com/temas/Optimizacion-de-las-propiedades-de-barrera-mediante-simulacion+3068367?pagina=4.
9. MÉNDEZ, Adrián. Problemas decisivos en el reciclado del PET: humedad. *Plastics Technology México* [en línea]. 1 de junio de 2021 [consultado en julio de 2021]. Disponible en: <https://www.pt-mexico.com/articulos/problemas-decisivos-en-el-reciclado-de-pet-humedad>.
10. M., & Perfil, V. T. M. Inyección soplada. [en línea]. 26 de marzo de 2012 [consultado en agosto de 2021]. Disponible en: <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2012/03/inyeccion-soplado.html>. Consulta: agosto de 2021.
11. NISSEI ASB MACHINE CO., LTD. *Machine initial setting guide* (PET). 2013.

12. NISSEI ASB MACHINE CO., LTD. *Manual de operación*.
13. PET | Textos Científicos. Textos Científicos | *Química, física, ecología informática y otras áreas de la ciencia* [en línea]. Septiembre de 2005 [consultado el 30 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.textoscientificos.com/polimeros/pet>
14. ¿Qué importancia tiene el punto de rocío en el secado de los plásticos? *mo's corner* [en línea]. [consultado el 2 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.moscorner.com/es/que-importancia-tiene-el-punto-de-rocio-en-el-secado-de-los-plasticos/>
15. WOMER, Timothy. Lo que usted debe saber sobre diseño de tornillos. *Tecnología del Plástico* [en línea]. Abril de 2005 [Consultado en agosto de 2021]. Disponible en: <https://www.plastico.com/temas/Lo-que-usted-debe-saber-sobre-diseno-de-tornillos+3038729?pagina=4>.
16. ZAVALETA, Marco. Relación de compresión. *Moldeo por inyección*. [en línea]. 2021 [consultado en agosto de 2021] Disponible en: <https://moldeoporinyeccion.com/relacion-de-compresion-rc/>.

ANEXO

Anexo 1. Máquina Niseei ASB 50 MB V2



Fuente: empresa plásticos Makilgar, S.A.

