



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA



DISEÑO DE VÁLVULA REGULADORA DE CAUDAL DE AIRE
PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE SOPLADO DE
BOTELLAS P.E.T. EN MÁQUINAS SOPLADORAS
SEMIAUTOMÁTICAS DE DOS CAVIDADES
TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. PAUL EDERSON CHAMBI ZUBILETA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PUNO – PERÚ

2021



DEDICATORIA

Dedicado a mis Padres: Raúl y Flor, por ser el pilar fundamental de mi formación personal, por creer en Mí, por los consejos, las motivaciones, las alegrías, los regaños y mil y un detalles que los califican de ser los Mejores Padres del mundo, sin su apoyo incondicional no hubiera podido alcanzar esta meta. Gracias

A mi Hermosa Familia: mi Reyna Yoselin, mi amada Esposa, musa inspiradora, leal amiga, guerrera sin igual, cómplice perfecta.

A Mi Princesa Florcita y a mi Campeón Luciano, la alegría y locura de mis días. Por su amor incalculable que me obsequian y ser la energía sin igual de todos mis proyectos.

A Guliano y Alejandro, mis grandes “Hermanazos”, porque sé, que siempre puedo contar con ustedes.



AGRADECIMIENTOS

- A mi Alma Mater, UNAP
- A mi escuela profesional, sus docentes y compañeros.
- Al Ing. Walter, Ing. Roberto, Ing. Carlos, Ing. José, por su apoyo, colaboración y consejos.
- Al personal administrativo de la facultad FIMEES.



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	
RESUMEN	11
ABSTRACT.....	12
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1 PRESENTACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA.....	13
1.2 OBJETIVO GENERAL.....	16
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
CAPÍTULO II	
REVISIÓN DE LITERATURA	
2.1 ESTADO DE LA TECNOLOGIA	17
2.1.1 Moldeo por soplado.....	17
2.1.2 Moldeo por soplado con preforma por inyección	18
2.2 P.E.T.....	19
2.2.1 Propiedades del PET	20
2.2.2 El polietilén tereftalato (PET) como envase de aguas minerales	22
2.2.3 En botellas de PET, el peso no lo es todo	23



2.3	DISEÑO LIGHTWEIGHT: CONTRIBUYENDO CON EL CONSUMO RESPONSABLE USANDO MENOS MATERIAL	25
2.4	BACTERIAS CAPACES DE DEVORAR EL PLÁSTICO.....	27
2.5	ALIGERAMIENTO DE BOTELLAS: ¿DÓNDE ESTÁ EL LÍMITE?.....	29
2.5.1	El valor del envase aligerado	29
2.5.2	Tendencias en aligeramiento de envases.....	31
2.5.3	¿Por qué un prototipo?	32

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1	FABRICACIÓN DE BOTELLAS PET.....	33
3.1.1	Almacenamiento de preformas	34
3.1.2	Elección de la preforma a estudiar	36
3.1.3	Pre calentamiento de preformas	37
3.1.4	Proceso de soplado	41
3.1.5	Almacenaje producto terminado	44
3.2	DETERMINACIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO	45
3.3	DISEÑO DE VÁLVULA	48
3.3.1	Actuador.....	49
3.3.2	Electro válvula	50
3.3.3	Diseño de la válvula de pase	51
3.4	DISEÑO DEL BUCLE DE OPERACIÓN	56

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	PRUEBAS REALIZADAS.....	58
4.2	RESULTADOS.....	64



V. CONCLUSIONES.....	65
VI. RECOMENDACIONES	66
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67
ANEXOS.....	69

Área : Control de Procesos.

Tema : Diseño de Válvula Reguladora de Caudal de Aire para la Optimización del Sistema de Soplado de Botellas P.E.T. en Máquinas Sopladoras Semiautomáticas de dos Cavidades.

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 25 de febrero de 2021.



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Datos técnicos del PET	22
Tabla 2. Preformas utilizadas en ECOPLAST SAC	34
Tabla 3. Temperatura correcta para el uso de la preforma	40
Tabla 4. Botellas óptimas según su peso y temperatura.....	61



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Moldeo soplado por inyección a) inyección de la preforma b) soplado de la preforma.....	18
Figura 2. Moldeo soplado con estiramiento inyectado	19
Figura 3. Desglose de la Productividad Total del Equipo en el caso de una aplicación convencional	30
Figura 4. Ahorros por reducciones de peso en gramos en función del volumen de las preformas previstas.....	30
Figura 5. Evolución del peso de los envases en el tiempo.....	31
Figura 6. Procedimiento para la fabricación de botellas PET.....	33
Figura 7. Almacenamiento de las preformas, almacén ECOPLAST SAC	35
Figura 8. Estación de soplado, ECOPLAST SAC	36
Figura 9. Preforma PET de 23.6 g	37
Figura 10. Esquema para el calentamiento de preformas	38
Figura 11. Calentamiento de preformas.....	39
Figura 12. Temperatura vs funcionabilidad de la preforma PET.....	41
Figura 13. Infografía del proceso de soplado.....	43
Figura 14. Paquetes de botellas terminadas para su comercialización	44
Figura 15. Diagrama de control de maquina sopladora	46
Figura 16. Boceto de la válvula de pre soplado	49
Figura 17. Actuador para nuestra válvula de pre soplado.....	50
Figura 18. Electro válvula 5/2.....	51
Figura 19. Diseño del cilindro	52
Figura 20. Diseño del pistón y la tapa.....	53



Figura 21.	Montaje de la válvula.	53
Figura 22.	Ensamblado final de la válvula.....	54
Figura 23.	Ensamblado final de la válvula de presoplado	55
Figura 24.	Diagrama de control, incluido el presoplado.....	56
Figura 25.	Clasificación de preformas por su peso	58
Figura 26.	Cantidad de Botellas obtenidas según peso y temperatura.....	61
Figura 27.	Botellas de 500 ml con presoplado.....	63



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

°C : grados centígrados

AC : Corriente Alterna

DC : Corriente Continua

g. : gramos

ml : mililitros

PET : Polietilén tereftalato

PLC : CONTROL LOGICO PROGRAMABLE

S. : segundo

SMI : SAN MIGUEL INDUSTRIAS PET S.A

Unid. : Unidades

V. : Voltios



RESUMEN

Polietileno tereftalato, más conocido por sus siglas en inglés como PET, es uno de los plásticos más usados en la industria de producción de envases a nivel mundial, por sus amplias características que posee; una de estas es la alta resistencia al desgaste y corrosión, siendo esta propiedad la cualidad principal para ser materia prima en la industria de botellas plásticas, las propiedades termoplásticas que posee hacen que sea un material fácil de maniobrar al momento de otorgarle una forma definida siendo el proceso de moldeo por termo soplado la técnica de fabricación más usada en la fabricación de botellas. Las maquinas sopladoras de 2 cavidades, son las máquinas que más se comercializan a nivel nacional, estas máquinas tienen la capacidad de producción promedio de 1500 botellas/ hora, dando origen a unos de los problemas medio ambientales más grandes de nuestro planeta puesto que se compra un millón de botellas de plástico por minuto. Al diseñar y agregar una válvula, en el proceso de soplado, ¿Qué se obtiene?; colaborar con la elongación del material así de esta manera obtener un estiramiento parejo del plástico y en consecuencia botellas de pared más delgada regulando el sistema de entrada de aire al momento de soplado de la preforma precalentada, es decir integrar a este sistema un pre soplado, que nos da como resultado, reducir hasta en 32.2% el material empleado para la producción de un envase. La metodología de investigación Cuantitativa es la que mejor se acomoda a esta investigación, puesto que los parámetros a medir se obtuvieron por experimentación directa y la obtención de resultados por medio de estadísticas y comparación, de un muestreo de 500 Unid. Con una variedad de 5 tamaños diferentes.

Palabras clave: Neumática, plástico P.E.T, termo soplado, válvulas.



ABSTRACT

Polyethylene terephthalate, better known by its acronym in English as PET, is one of the most used plastics in the packaging production industry worldwide, due to its broad characteristics; One of these is its high resistance to wear and corrosion, this property being the main quality to be a raw material in the plastic bottle industry, the thermoplastic properties that it possesses make it an easy material to maneuver when giving it a defined shape being the thermo blow molding process the most used manufacturing technique in the manufacture of bottles. The 2-cavity blowing machines are the most commercialized machines nationwide, these machines have an average production capacity of 1500 bottles / hour, giving rise to some of the largest environmental problems on our planet since it is purchased one million plastic bottles per minute. When designing and adding a valve, in the blowing process, what do you get ?; collaborate with the elongation of the material and thus obtain an even stretch of the plastic and consequently bottles with a thinner wall by regulating the air inlet system at the moment of blowing the preheated preform, that is, integrating a pre-blowing into this system, This results in reducing the material used for the production of a container by up to 32.2%. The Quantitative research methodology is the one that best suits this research, since the parameters to be measured were obtained by direct experimentation and obtaining results through statistics and comparison, from a sample of 500 Units. With a variety of 5 different sizes.

Keywords: Pneumatics, plastic P.E.T, thermos blown, valves.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

INDUSTRIA DEL PLASTICO ECOPLAST S.A.C. Fundada como PLASTISOL SAC, en el año de 1996 y reconstituida en el año 2014 como ECOPLAST SAC, es pionera en la región Puno, en prestar servicios y soluciones completas para el envasado de líquidos, alimentos, productos para el hogar y el cuidado personal en PET. Situando su planta de producción en la ciudad de Juliaca, en la cual se encuentran 02 sopladoras semi automáticas de botellas PET trabajando con el sistema de moldeo por soplado. Cada una de ellas con capacidad de producción máx. De 1500 botellas por hora; en la actualidad ECOPLAST, produce cerca de 288 000 botellas al mes, las cuales representan 4.3 toneladas de PET.

En el presente capítulo, primero, se plantea la problemática que existe respecto al impacto ambiental que representan estas 4.3 toneladas de plástico, que se producen en ECOPLAST SAC. Segundo, como parte del estado del arte, se presenta una descripción del sistema empleado en la producción de botellas de esta empresa, el moldeo por soplado, así como, las propiedades mecánicas del PET y todas las partes involucradas en la optimización de este proceso, entre estas están: las válvulas de soplado, el sistema neumático, el control automático o plc. Finalmente, se plantea la propuesta del diseño de una válvula que optimice dicho proceso y así obtener la reducción del consumo de PET para la elaboración de botellas.

1.1 PRESENTACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

“El cuidado del medio ambiente es un tema que ha venido ganando relevancia en los últimos años. En general, las compañías están buscando la forma de hacer que sus



actividades tengan el menor impacto posible en el planeta (Lacruz, 2005). Al analizar la situación global, se identifica que organizaciones internacionales como la ONU han empezado a enviarle mensajes al público relacionados con la protección del medio ambiente. Un ejemplo de esto es que en 2015 la ONU promulga una resolución llamada “Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible”, por medio de la cual se busca: “Garantizar una protección duradera del planeta y sus recursos naturales” (Miraya, 2002) y la cual, según Naranjo (2015) surge con el propósito de reemplazar los Objetivos de Desarrollo del Milenio promulgados en el 2000, y conseguir o reforzar aquellos aspectos que estos objetivos no lograron” (Ramos, 2019).

“En el 2010 el mundo tiro 8 millones de toneladas de plástico al mar desde 192 países con costas, según un estudio publicado hoy en Science; que los mares se han convertido en botaderos aceptadas ya por muchos expertos, la única incertidumbre es como de grande es el basurero. Según la primera estimación de cuanto plástico llegan a las aguas cada año en todo el mundo la situación es mucho peor de lo que se esperaba. La situación actual del Barrio Salsipuedes con el consumo de botella PET, indican que el problema se agudiza y solo cambiando el modo de pensar de esta comunidad frente al medio ambiente y adoptar la cultura de las tres R (Reducir, Reutilizar y Reciclar), mejorará la salud disminuyendo las enfermedades producidas por vectores” (Pabón & Prieto, 2016).

Teniendo en cuenta el impacto ambiental que esta representa al medio ambiente, puesto que:

“Buena parte de estos productos que no se reciclan quedan como potenciales agentes contaminantes del ecosistema. O se eliminan mediante procesos no recomendados (lo que facilita la emisión de gases contaminantes a la atmósfera) o se



arrojan a espacios naturales o vertederos (aumentando el volumen de materiales sin procesar). Al permanecer innecesariamente en el entorno, estos residuos dañan la fauna y las especies que lo habitan. Solo en los océanos, espacios sumamente sensibles de recibir contaminación, se calcula que los plásticos desechados representan más del 85% de la basura marina a nivel mundial. Se estima que anualmente reciben entre 4,8 y 12,7 millones de toneladas de plástico cuyos efectos nocivos se notan directamente en el decrecimiento acelerado de la fauna marina. La previsión es que, si la dinámica de crecimiento de desechos plásticos no reutilizables continúa en ascenso, para 2050 habrá en los océanos más plásticos que peces” (DNest Agency, 2020).

El PET, es uno de los plásticos más fáciles de reciclar y a la vez es uno de los más usados en la industria, pero frente a la indolencia de la gente a los procesos de reciclado, la única solución asequible es la reducción u optimización de su uso en los procesos de manufactura e industriales.

Con la evolución de la tecnología, estos procesos han mejorado significativamente, años atrás el proceso de fabricar botellas demandaba el uso de hornos de operación manual, en los cuales del 8 al 10% representaban pérdidas de material, debido a que el control de temperatura no era exacto, con la inclusión de horno automáticos esta pérdida se redujo considerablemente al 0%. Dando una muestra de la importancia que significa la optimización de estas máquinas.

El modelo de medio litro, es uno de los productos de mayor demanda en ECOPLAST SAC. Casi un 43% de la producción total, esta se fabrica con una preforma de 23.6 g. a una temperatura de 95°C y una presión de soplado de 220 psi. Esta temperatura y presión son las condiciones óptimas para la elaboración de esta botella, la mejora en el proceso de soplado podría ayudar a reducir el uso del material de



fabricación y la reducción de la temperatura de calentamiento de la preforma. Por tal motivo se propone el diseño de una válvula que reduzca la presión del aire de soplado, para la obtención de una botella con paredes más delgadas y una distribución uniforme del material utilizado esto generaría el uso de preformas de menor gramaje y en consecuencia la reducción de la temperatura de precalentado.

Este diseño debe contemplar una válvula adicional a la ya existente para el sistema de soplado, el sistema de control necesario para su operación y funcionamiento.

1.2 OBJETIVO GENERAL

Determinar si al diseñar y agregar una válvula de pase, en el proceso de soplado, esta debe de colaborar con la elongación del material así de esta manera obtener un estiramiento parejo del plástico. Y en consecuencia botellas de pared más delgada

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Objetivo específico 1: Diseñar y agregar una electro-válvula al sistema de soplado, que mejore la capacidad de estiramiento del PET en el proceso de fabricación de botellas plásticas.
- Objetivo específico 2: Diseñar y agregar una electro-válvula al sistema de soplado, que reducirá el consumo de PET en el proceso de fabricación de botellas plásticas.
- Objetivo específico 3: Diseñar y agregar una electro-válvula al sistema de soplado, que reducirá el consumo energía en el proceso de fabricación de botellas plásticas.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ESTADO DE LA TECNOLOGIA

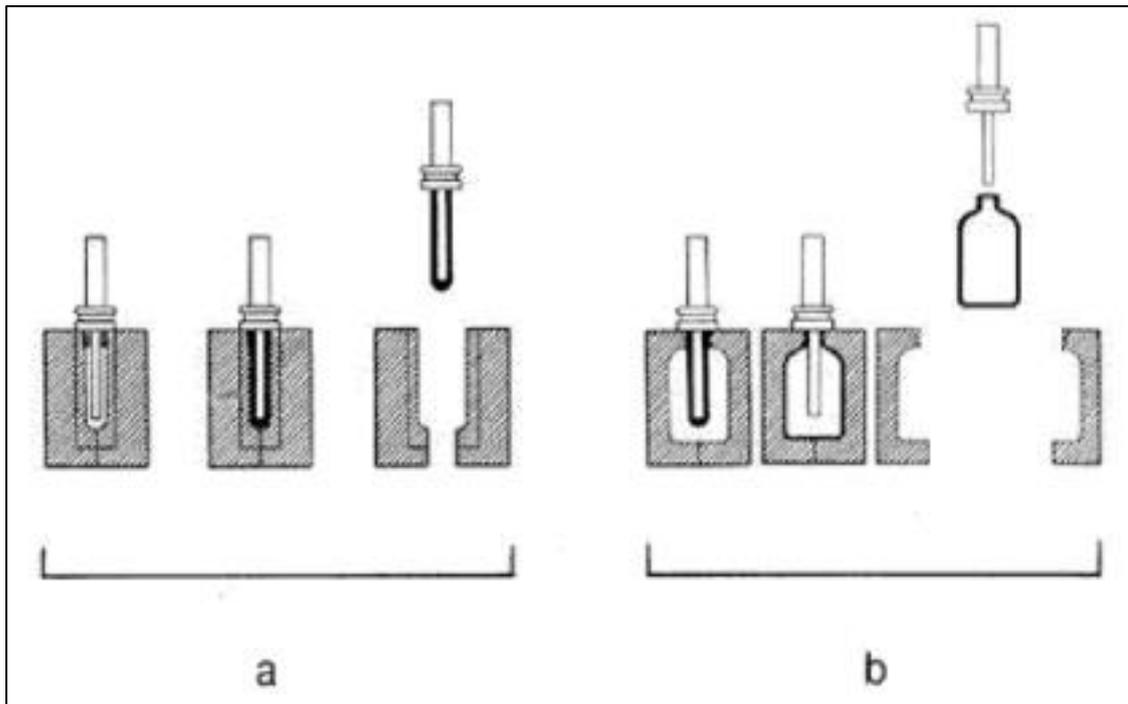
Huang (2019) afirma: "El desarrollo de estructuras de pared delgada que sea flexible y resistente es bastante difícil por sí sola, pero cuando se añade bajar el peso, se convierte en un ejercicio altamente técnico de optimización".

2.1.1 Moldeo por soplado

“El moldeo por soplado es el proceso a través del cual se realizan productos huecos mediante la expansión de un plástico caliente (derretido) denominado “parison” o “macarrón”, contra las superficies internas de un molde. Aproximadamente el 75% de los procesos son moldeo por soplado por extrusión, y el 25% restante son de moldeo por soplado por inyección. Los distintos procesos de moldeo por soplado brindan diferentes ventajas en cuanto a la producción de diversos productos, teniendo en cuenta el material utilizado, el rendimiento requerido, el volumen de producción y los costos. Productos como el polietileno, polipropileno, poliuretano, PVC Y PET pueden ser moldeados por soplado sin ningún problema.

Esencialmente las piezas que se fabrican a través de este proceso son: pequeñas botellas para productos del hogar y cuidado personal, productos lácteos y bebidas carbonatadas, etc” (Castro *et al.*, 2010).

Figura 1: Moldeo soplado por inyección a) inyección de la preforma b) soplado de la preforma



Fuente: Castro *et al.* (2010).

2.1.2 Moldeo por soplado con preforma por inyección

“El moldeo soplado por inyección comienza con el moldeo por inyección de una preforma, la cual es calentada posteriormente y soplada hasta obtener su forma final en un molde. Este proceso es muy utilizado en plantas de embotellado, ya que estas embotelladoras compran las preformas y es allí donde se da la forma final antes del llenado” (Castro *et al.*, 2010).

Figura 2: Moldeo soplado con estiramiento inyectado



Fuente: Castro et al. (2010).

2.2 P.E.T.

“El PET es un poliéster aromático. Su denominación técnica es polietilén tereftalato o politereftalato de etileno y forma parte del grupo de los termoplásticos, razón por la cual es posible reciclarlo.

El PET (polietilén tereftalato) pertenece al grupo de los materiales sintéticos denominados poliésteres. Fue descubierto por los científicos británicos Whinfield y Dickson, en el año 1941, quienes lo patentaron como polímero para la fabricación de fibras. Se debe recordar que su país estaba en plena guerra y existía una apremiante



necesidad de buscar sustitutos para el algodón proveniente de Egipto. Recién a partir de 1946 se lo empezó a utilizar industrialmente como fibra y su uso textil ha proseguido hasta el presente. En 1952 se lo comenzó a emplear en forma de film para el envasado de alimentos. Pero la aplicación que le significó su principal mercado fue en envases rígidos, a partir de 1976; pudo abrirse camino gracias a su particular aptitud para el embotellado de bebidas carbonatadas” (Mariano, 2011).

2.2.1 Propiedades del PET

El PET en general se caracteriza por su elevada pureza, alta resistencia y tenacidad. De acuerdo a su orientación presenta propiedades de transparencia y resistencia química. Existen diferentes grados de PET, los cuales se diferencian por su peso molecular y cristalinidad. Los que presentan menor peso molecular se denominan grado fibra, los de peso molecular medio, grado película y los de mayor peso molecular, grado ingeniería.

Este polímero no se estira y no es afectado por ácidos ni gases atmosféricos, es resistente al calor y absorbe poca cantidad de agua, forma fibras fuertes y flexibles, también películas. Su punto de fusión es alto, lo que facilita su planchado, es resistente al ataque de polillas, bacterias y hongos.

El PET presenta las siguientes propiedades:

- Procesable por soplado, inyección y extrusión.
- Apto para producir botellas, películas, láminas, planchas y piezas.
- Transparencia (aunque admite cargas de colorantes) y brillo con efecto lupa.



- Alta resistencia al desgaste.
- Muy buen coeficiente de deslizamiento.
- Buena resistencia química y térmica.
- Muy buena barrera a CO₂, aceptable barrera a O₂ y humedad.
- Compatible con otros materiales barrera que mejoran en su conjunto la calidad barrera de los envases y por lo tanto permiten su uso en mercados específicos.
- Reciclable, aunque tiende a disminuir su viscosidad con la historia térmica.
- Aprobado para su uso en productos que deban estar en contacto con productos alimentarios.
- Excelentes propiedades mecánicas.
- Biorientable.
- Cristalizable.
- Esterilizable por rayos gamma y óxido de etileno.
- Buena relación costo / performance.
- Se encuentra renqueado como No.1 en reciclado.
- Liviano (Mariano, 2011).

Cuenta con los siguientes datos técnicos:

Tabla 1: Datos técnicos del PET

Propiedad	Unidad	Valor
Densidad	g/cm ³	1,34 – 1.39
Resistencia a la tensión	MPa	59 – 72
Resistencia a la compresión	MPa	76 – 128
Resistencia al impacto, Izod	J/mm	0.01 – 0.04
Dureza	--	Rockwell M94 – M101
Dilatación térmica	10 ⁻⁴ / °C	15.2 – 24
Resistencia al calor	°C	80 – 120
Resistencia dieléctrica	V/mm	13780 – 15750
Constante dieléctrica (60 Hz)	--	3.65
Absorción de agua (24 h)	%	0.02
Velocidad de combustión	mm/min	Consumo lento
Efecto luz solar	--	Se decolora ligeramente
Calidad de mecanizado	--	Excelente
Calidad óptica	--	Transparente a opaco
Temperatura de fusión	°C	244 - 254

Fuente: Industria del Plástico. Plástico Industrial. (Richardson & Lokensgard).

2.2.2 El polietilén tereftalato (PET) como envase de aguas minerales

En resumen: El envasado de agua mineral natural en botellas de polietilén tereftalato (PET), como método más ampliamente extendido, es un tema que actualmente se está revisando debido a la creciente preocupación sobre la toxicidad de los materiales poliméricos, plásticos, en contacto con alimentos de consumo humano. Se hace necesario clarificar si es posible la migración de compuestos genotóxicos y estrogénicos, principalmente, desde el polietilén tereftalato al agua de bebida. A pesar de ser considerado uno de los plásticos más inocuos para la salud humana y



medioambiental, existen compuestos claramente relacionados con la migración al agua, como son el antimonio, el formaldehído y el acetaldehído, y otros que se han visto asociados por los medios de comunicación pero que, en realidad, no se encuentran presentes en el producto final y/o en el procesado del PET. Para ello, se revisó la bibliografía existente sobre estudios de lixiviación mediante la búsqueda en revistas médicas y relacionadas con la industria de los plásticos y de las características del PET como polímero en el Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Palabras clave: Polietilén tereftalato (PET), botella PET, agua mineral natural, migración, reciclado, envasado (Cobos, 2016).

2.2.3 En botellas de PET, el peso no lo es todo

El tema de reducción de costos sigue siendo para la industria de PET, al igual que para casi todos los sectores de la industria plástica, un aspecto prioritario. En una entrevista concedida al diario -Zeitung, en Alemania, Arne Wiese, director de producto de Botellas y Formas de la empresa KHS Corpoplast en Hamburgo, discutió algunos de sus puntos de vista en cuanto al tema de reducción de peso. Tecnología del Plástico resume algunos de los puntos principales de esta entrevista (Wiese, 2012).

Reducción de peso en botellas de PET: el límite está cerca

Wiese destaca que durante los últimos años, la tendencia en la reducción del espesor de pared ha estado presente sobre todo en botellas de PET descartables, para envasado de agua sin gas. Desde su punto de vista, el mercado se encuentra cerca de alcanzar el límite posible. Para bebidas carbonatadas o envases reutilizables, el espesor de pared no se ha reducido en los últimos años en forma importante, y no prevee que esta tendencia se incremente, debido a que una reducción de espesor en este tipo de aplicaciones reduciría la vida de anaquel.



Hoy en día, una botella de PET de medio litro para agua sin gas pesa del orden de 8,7 g. En los próximos años, esta cifra podría reducirse hasta los 7,0 ó 6,5 g. Sin embargo, la aceptación de los usuarios hacia botellas de este tipo (que por supuesto carecen de la estabilidad de soluciones anteriores) no está dada. Los fabricantes de botellas deben tomar medidas en este sentido (Wiese, 2012).

Medidas para ahorrar

Si se analizan los costos en la cadena de producción de envases soplados, los principales factores son los costos de materia prima, costos de producción y energía y finalmente, los costos de inversión en maquinaria. En comparación con el resto de rubros, el costo de maquinaria, de acuerdo con Wiese, tiene una relevancia menor. El ahorro de energía es un factor importante para reducir costos, y en este tema se ha trabajado en la industria de manera constante. Mientras que hace diez años se necesitaban 35 bar de presión para soplar una preforma, hoy en día se necesitan tan sólo 20 ó 25. Y la tendencia sigue a la baja.

También la productividad es una oportunidad de rebajar costos. Mientras más botellas se puedan producir por cavidad, menor serán los costos de producción por unidad. De acuerdo con Wise, para botellas livianas de 500 mL, el estándar de hoy es producir cerca de 2.250 unidades por hora y por cavidad. Esta tendencia podría subir hasta 2.500 ó 2.700 unidades por cavidad-hora. Otra oportunidad importante de ahorro es usar las llamadas máquinas de “bloque”. En este caso, la máquina de soplado está unida a la de llenado. Entre las ventajas de estas máquinas se cuentan el ahorro de espacio, logística e higiene. Sin embargo, dada la tendencia a que las botellas sopladas sean cada vez más delgadas, es importante que se manipulen lo menos posible antes de



ser llenadas, para que no colapsen ni se comprometa su calidad. En este sentido, el llenado directo favorece la reducción de costos (Wiese, 2012).

Materiales alternativos y reciclaje

De acuerdo con Wiese, el PET seguirá reinando como el material favorito para botellas de bebidas, debido a las buenas propiedades mecánicas y a su precio atractivo, comparado con otras alternativas como el PLA. Aunque ya hace mucho tiempo se discute sobre el PLA, se ha comprobado que no es una alternativa para las botellas, por su precio actual y por su falta de propiedades. Una tendencia importante es el Bio-PET, con la cual se busca generar PET a partir de fuentes renovables.

Más importante es el reciclado, que particularmente en el sector de producción de botellas tiene un gran potencial de contribuir a reducir los costos. El panorama óptimo es tener un reciclaje “botella-a-botella”, pero no necesariamente es la única opción. También puede considerarse la aplicación de reciclaje de botellas para producir fibras (Wiese, 2012).

2.3 DISEÑO LIGHTWEIGHT: CONTRIBUYENDO CON EL CONSUMO RESPONSABLE USANDO MENOS MATERIAL

La reducción de peso de las botellas de PET es una tendencia constante, ligada a la disminución de los costos en la fabricación y cadena de distribución de los productos envasados en este material. En la actualidad, esta tendencia se ha visto reforzada considerando que el menor uso del material, conlleva a disminuir el consumo de energía en la fabricación de la botella, y facilitar su proceso de reciclaje.



De acuerdo a lo señalado por Miguel Angel Arto, en su artículo para la revista *Énfasis Packaging*, cada gramo reducido en una botella en un mercado de 100 millones de botellas, evita:

- Consumo de 100 tn de PET.
- El uso de más de 80.000 kWhr de energía en producción de botellas.
- La generación de 36tn CO₂.

Sin embargo a la hora de reducir el peso en una botella, los fabricantes deben considerar aspectos como el manejo en la línea producción y la cadena logística, el tiempo de vida de anaquel del producto y la percepción del consumidor ante una botella más delgada.

Considerando esta complejidad, todos los actores del sector plásticos se han visto involucrados en el desarrollo de tecnología que han permitido hacer técnicamente factible la producción y el uso de botellas cada vez más ligeras.

En el caso específico de la inyección de preformas, estos desarrollos han llevado a acabos más cortos y pequeños reduciendo la cantidad de material destinado para el cierre de la botella (como por ejemplo la rosca 29/25). También se han logrado a nivel del cuerpo de la preforma, mejoras de diseño que han permitido obtener ratios de estiramiento más amplios, que se traducen en botellas de mayor contenido cada vez más delgadas.

Esto se hace especialmente evidente en los nuevos diseños de las botellas no retornables para agua sin gas, en donde existen presentaciones de medio litro en el orden de 8,7 g y para los próximos años pudieran reducirse a 6,5 g, de acuerdo a lo indicado (Wiese a Tecnología del Plástico, 2012).



En otras aplicaciones como en el caso de las bebidas carbonatadas, la reducción de peso ha sido en menor proporción, debido a las exigencias a la que debe estar sometida la botella al contener CO₂ y la vida de anaquel que se requiere para este tipo de bebidas. Sin embargo se han logrado avances interesantes con las preformas con acabado 1881, en donde sólo la reducción de la altura del acabado, en comparación con los diseños 1810 ó 1816) ha disminuido al menos 2 g en las zona del cierre de la botella.

Para todos los casos es importante que los fabricantes se encuentren atentos a la aceptación del consumidor, ya que botellas con paredes más delgadas pueden afectar la percepción de calidad del producto, especialmente en aplicaciones diferentes al agua sin gas. Es por esto que se debe continuar haciendo énfasis en los beneficios para el medioambiente que implica el uso de envases más ligeros de manera de ir mejorando la percepción del consumidor y promoviendo el consumo responsable de botellas de PET a partir de la reducción del material (PET).

2.4 BACTERIAS CAPACES DE DEVORAR EL PLÁSTICO

Solo en 2013 se produjeron alrededor de 56 millones de toneladas de politereftalato de etileno en el mundo, también conocido como PET. Su acumulación en los ecosistemas de todo el mundo supone un problema cada vez mayor. Hasta la fecha, se han encontrado muy pocas especies de microorganismo que descompongan este polímero.

Científicos de varios centros japoneses han publicado un estudio en Science en el que han recopilado 250 muestras de desechos de PET y los han estudiado en busca de candidatos bacterianos que dependan de las láminas de PET como principal fuente de carbono para su crecimiento.



“Hasta ahora no existía ningún informe de cómo degradar el PET a dióxido de carbono y agua. Una de las razones es porque PET tiene estructuras cristalinas y también una naturaleza química hidrófoba”, apunta a Sinc Kohei Oda, autor principal del estudio e investigador del Instituto de Tecnología de Kyoto (Japón).

En este nuevo trabajo los expertos han identificado una nueva enzima de la bacteria, a la que han llamado *Ideonella sakaiensis* 201-F6, que puede degradar casi en su totalidad una lámina delgada de PET tras seis semanas a una temperatura de 30 °C.

Además, una investigación más profunda acabó identificando otra enzima, ISF6_4831, que funciona con agua para descomponer el PET en una sustancia intermedia que a su vez puede descomponerse en una segunda enzima, ISF6_0224.

“Logramos aislar a estos microorganismos en un lugar de reciclaje de botellas de PET. Nuestro estudio es solo el inicio para desarrollar una tecnología que pueda degradar el material de PET que se desperdicia a escala industrial. Y lo haremos utilizando el grupo de bacterias o *Ideonella sakaiensis* o enzimas de la cepa tan pronto como sea posible”, añade el científico.

Estas dos enzimas por sí solas son capaces de descomponer el PET en unidades estructurales más simples. Lo sorprendente, según los investigadores, es que además son extremadamente únicas en su función, si se las compara con las enzimas más próximas conocidas de otras bacterias.

Esto hace que los científicos se cuestionen la evolución de estas bacterias devoradoras de plástico. “No tenemos ninguna evidencia hasta ahora. Suponemos que su enzima evolucionó de la cutinasa, porque en condiciones especiales tiene cierta capacidad de degradar PET”, concluye (Yoshida, 2016).

2.5 ALIGERAMIENTO DE BOTELLAS: ¿DÓNDE ESTÁ EL LÍMITE?

En los últimos años, muchas botellas, como las de refrescos carbonatados y agua, han reducido su peso. Como consecuencia, las preformas para dichas botellas también han reducido su peso entre un 20 y un 30 por ciento. En un esfuerzo constante por mejorar los márgenes de beneficios, los fabricantes de envases siguen estudiando fórmulas que les permitan reducir aún más el peso de las botellas, sin que ello haga mermar el rendimiento de las mismas.

¿Es posible fabricar botellas más ligeras? La respuesta depende de la aplicación de la botella. A continuación, se detallan ciertos factores que deben tenerse en cuenta, así como los recursos disponibles para evaluar el nuevo envase aligerado.

2.5.1 El valor del envase aligerado

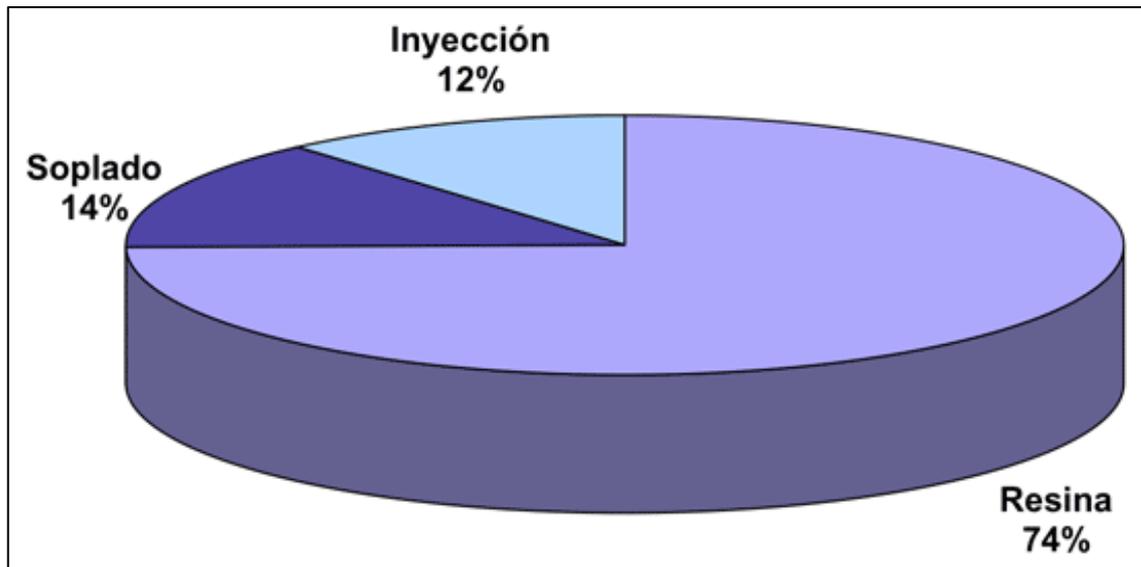
Los costes de la resina son los que más influyen en el coste total de producción de un envase.

La figura 3, situada más abajo, muestra el desglose habitual de la Productividad Total del Equipo (PTE), tomando como ejemplo una aplicación de moldeo por inyección convencional.

Esta figura demuestra que una reducción del 5 por ciento del peso de una pieza puede reportar un ahorro del 4,4 por ciento en el coste del producto, mientras que una reducción del 5 por ciento de los costes de equipamiento se traduce sólo en un 0,26 por ciento de ahorro en el coste del producto.

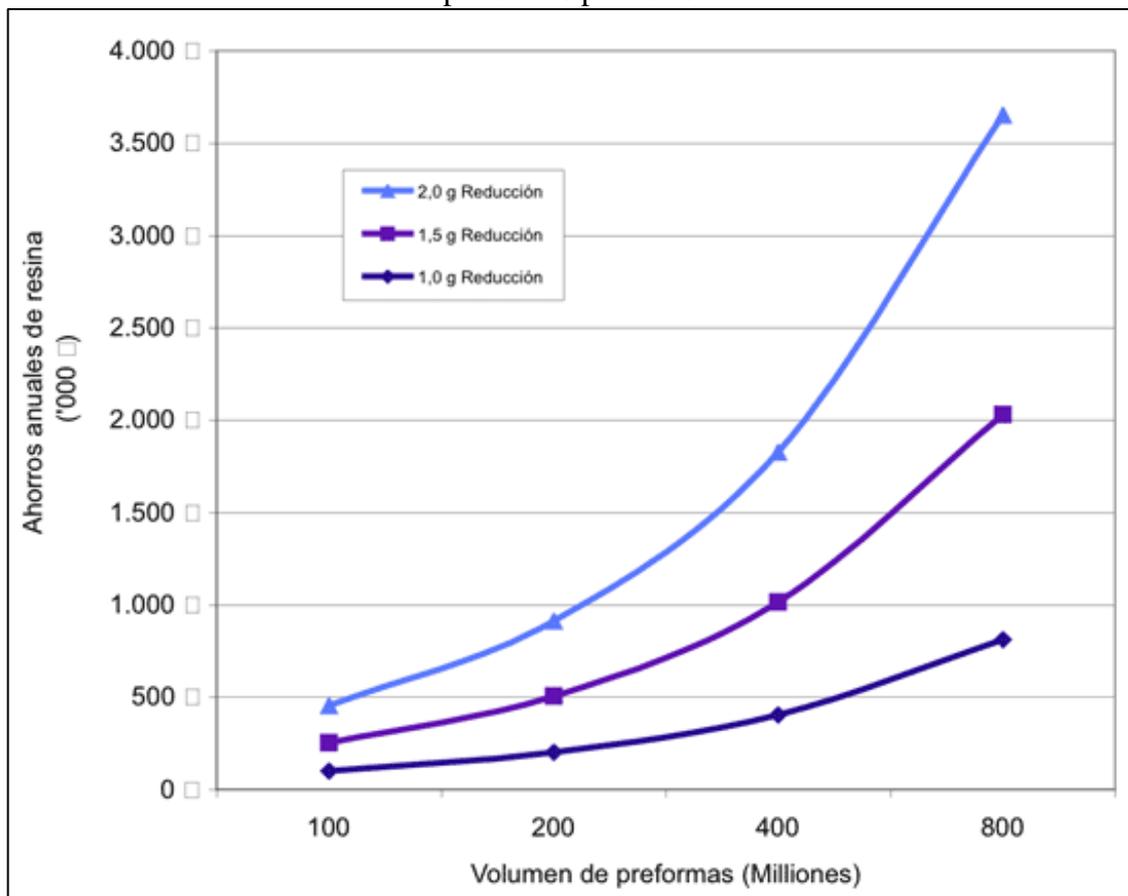
La clave para aumentar la rentabilidad podría ser invertir en un programa de prototipaje para investigar acerca de posibles soluciones para la reducción de peso de los envases.

Figura 3: Desglose de la Productividad Total del Equipo en el caso de una aplicación convencional



Fuente: Husky Injection Molding Systems.

Figura 4: Ahorros por reducciones de peso en gramos en función del volumen de las preformas previstas



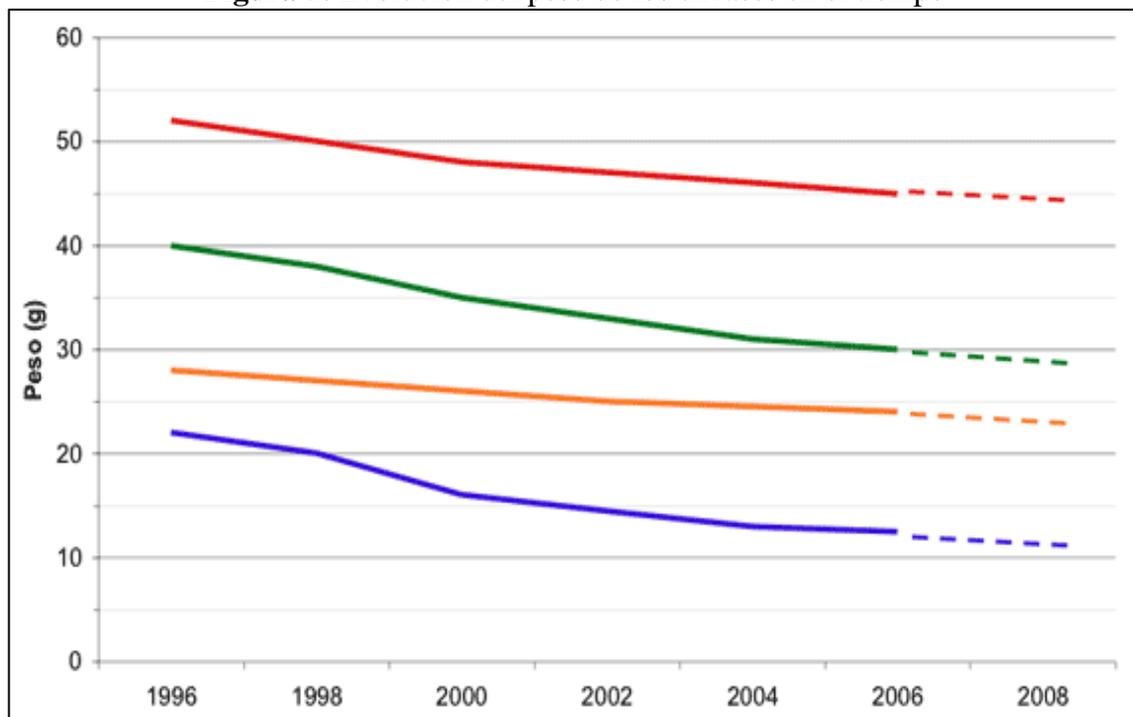
Fuente: Husky Injection Molding Systems.

La figura 4 muestra claramente las reducciones de peso en gramos y el ahorro de costes asociado al volumen de producción.

2.5.2 Tendencias en aligeramiento de envases

Tras la consolidación de ciertos envases de PET de gran volumen de producción, se aprecia un aumento de las actividades de reducción de peso de los envases. Por ejemplo, en los últimos años, la botella individual de 0,5 litros de agua ha visto una actividad importante con el fin de ir por debajo de la barrera de los 15 gramos de peso. Del mismo modo, se ha trabajado con las botellas de agua de 1 y 1,5 litros para reducir los tiempos de ciclo a través de reducciones de pesos. En el caso de los refrescos carbonatados, hay posibilidades de reducir el peso y los tiempos de ciclos de los envases de un solo uso de 500 y 600 ml, mientras que con los envases de 2 litros se está reduciendo el peso por debajo de los 48 gramos.

Figura 5: Evolución del peso de los envases en el tiempo



Fuente: Husky Injection Molding Systems.



2.5.3 ¿Por qué un prototipo?

El valor de un prototipo no es sólo definir un peso óptimo. Un prototipo también puede servir, entre otras cosas, para asegurar que:

- La relación entre el espesor de la pared lateral de la preforma y su longitud no requiere una presión de inyección demasiado alta.
- La preforma se desmoldea y se transfiere correctamente a la placa del robot.
- Las preformas se posicionan fácilmente antes de llegar a la zona de soplado.
- La preforma se transfiere correctamente durante el proceso de soplado.
- La ventana del proceso de soplado se adecua al equipamiento y a las condiciones ambientales.

Para evaluar correctamente la calidad del rendimiento de una botella aligerada antes de pasar a la fase de producción, un prototipo es algo esencial.

Para las aplicaciones que requieren modificaciones del vástago y de la cavidad, muchos transformadores deciden fabricar preformas en una planta de prototipaje y después probarlas en la máquina de soplado que se utiliza en el proceso de producción. Así se reduce el impacto en los rígidos programas de producción y se ofrece al fabricante de preformas la ventaja de que las botellas se han fabricado en la plataforma de soplado de producción.

En un mercado tan competitivo como el actual, cualquier transformador busca alternativas para mejorar la rentabilidad. Si no está pensando seriamente en reducir el peso de los envases, probablemente la competencia ya lo estará haciendo (Husky Injection Molding Systems, 2007).

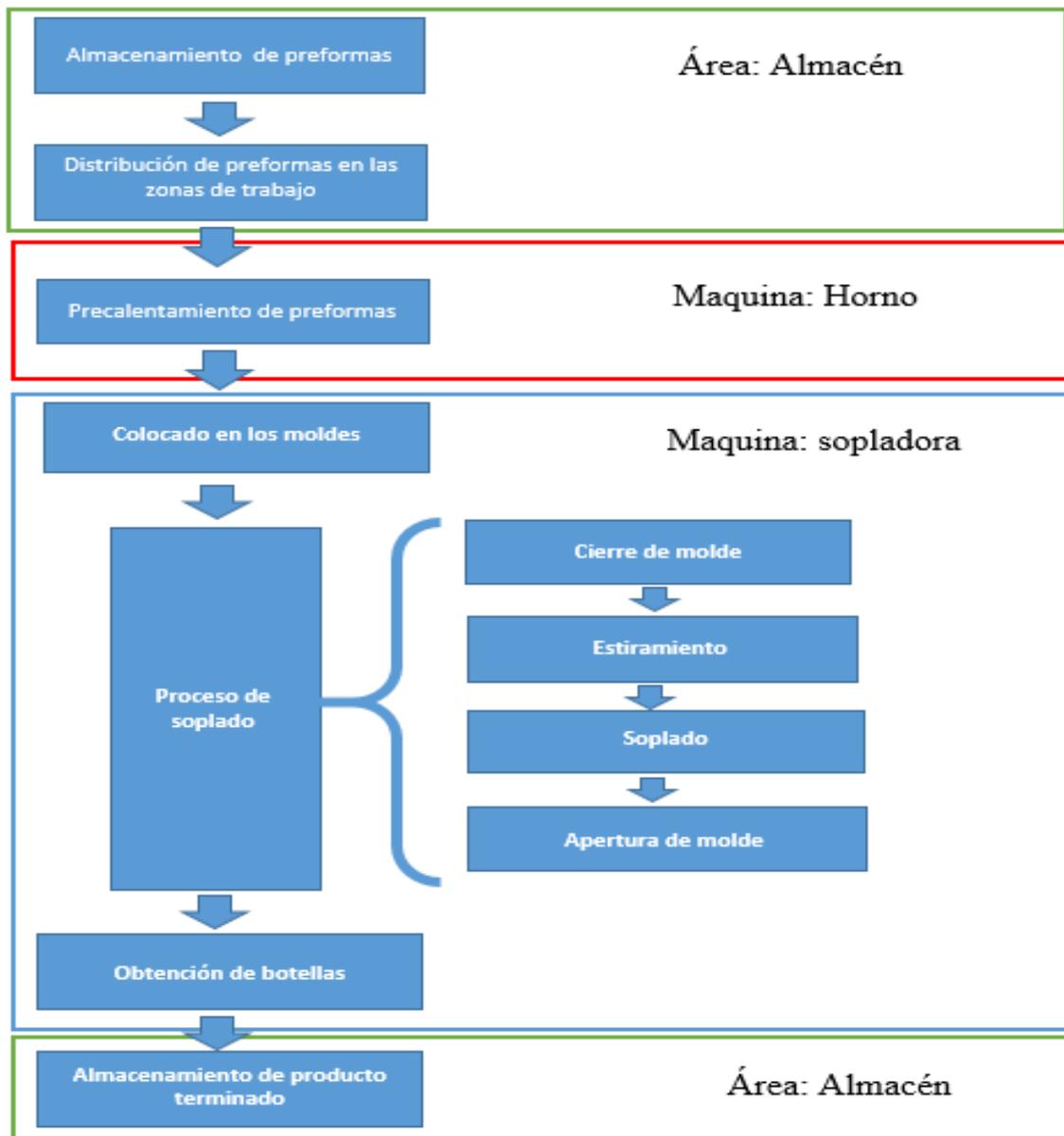
CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 FABRICACIÓN DE BOTELLAS PET

El procedimiento para fabricar botellas Pet, mantiene el siguiente patrón:

Figura 6: Procedimiento para la fabricación de botellas PET



Elaboración Propia



3.1.1 Almacenamiento de preformas

ECOPLAST SAC. Tiene 4 proveedores de preformas en la que destacan AMCOR PET PACKAGING DEL PERU S.A. y SAN MIGUEL INDUSTRIAS PET S.A. estas dos empresas lideran el mercado de envases PET en el Perú. Los cuales proporcionan a ECOPLAST el siguiente material:

Tabla 2: Preformas utilizadas en ECOPLAST SAC

MATERIAL (Gramos)	FINISH	COLOR	CANT/CAJA	PROVEDOR	USO (Botellas de)
12.7	CORTO	CRISTAL	22200	SMI	200 ML
13.5	CORTO	CRISTAL	20500	SMI	330 ML
19.7	CORTO	CRISTAL	19500	SMI	400 ML
20.7	CORTO	CRISTAL	16500	SMI	400 ML
22	CORTO	CRISTAL	16000	AMCOR	500 ML
23.6	CORTO	CRISTAL	18000	AMCOR	500 ML
35.7	CORTO	CRISTAL	10600	AMCOR	1000 ML
43.6	CORTO	CRISTAL	8700	AMCOR	2000 ML
35.7	CORTO	VERDE	10600	AMCOR	2000 ML

Fuente: Contabilidad ECOPLAST SAC.

Figura 7: Almacenamiento de las preformas, almacén ECOPLAST SAC



Elaboración Propia

De esta área de almacenaje se derivan a las estaciones de soplado, donde se ubican las maquinas sopladoras y sus respectivos hornos, la distribución de material es acorde al programa de producción elaborado por la administración.

Figura 8: Estación de soplado, ECOPLAST SAC



Elaboración Propia

3.1.2 Elección de la preforma a estudiar

Para nuestra investigación he decidido utilizar la preforma de 23.6 g. correspondiente a la botella de 500 ml para el envasado de néctar o jugos. Esta botella representa el 43% de la producción total de ECOPLAST.

Figura 9: Preforma PET de 23.6 g



Elaboración Propia

A partir de este punto tomaremos en cuenta sólo la data informativa de la producción de esta botella.

3.1.3 Precalentamiento de preformas

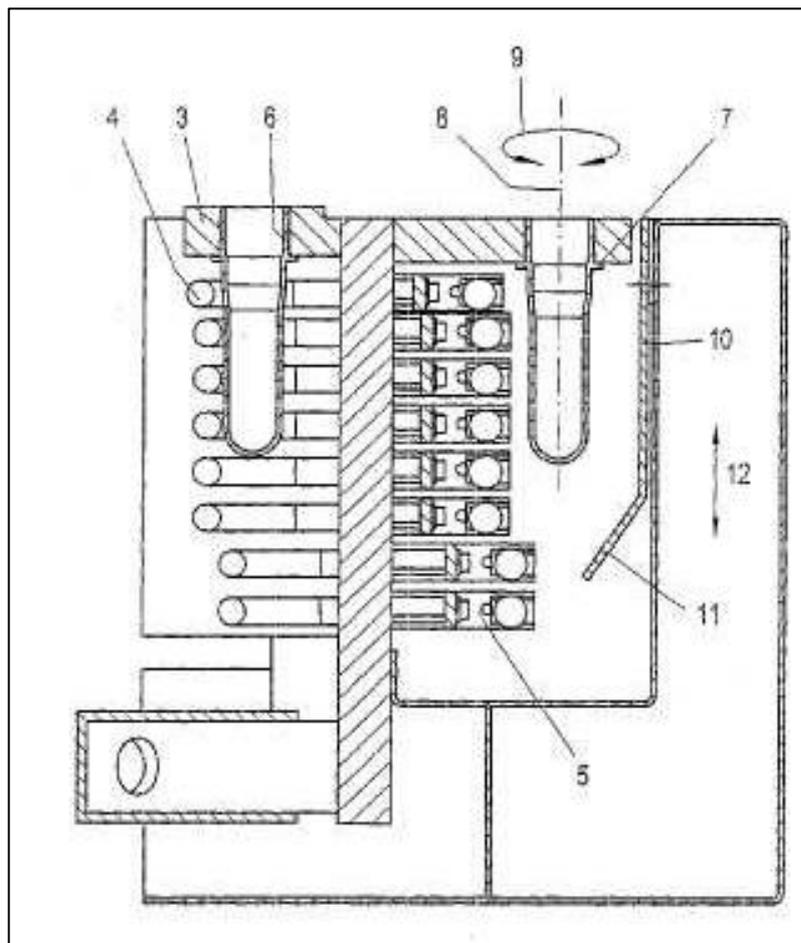
En esta etapa las preformas pasan de manera manual al horno en donde a una temperatura adecuada obtiene el punto de flexión adecuado para su correcto estiramiento, El calentamiento de la preforma PET se realiza por radiación a través de lámparas de radiación infrarrojas.

Procedimiento para el calentamiento de preformas termoplásticas

“Para la fabricación de cuerpos huecos (6, 7) formados por recipientes o botellas de PET, siendo accionadas las preformas (6, 7) para realizar un movimiento de rotación

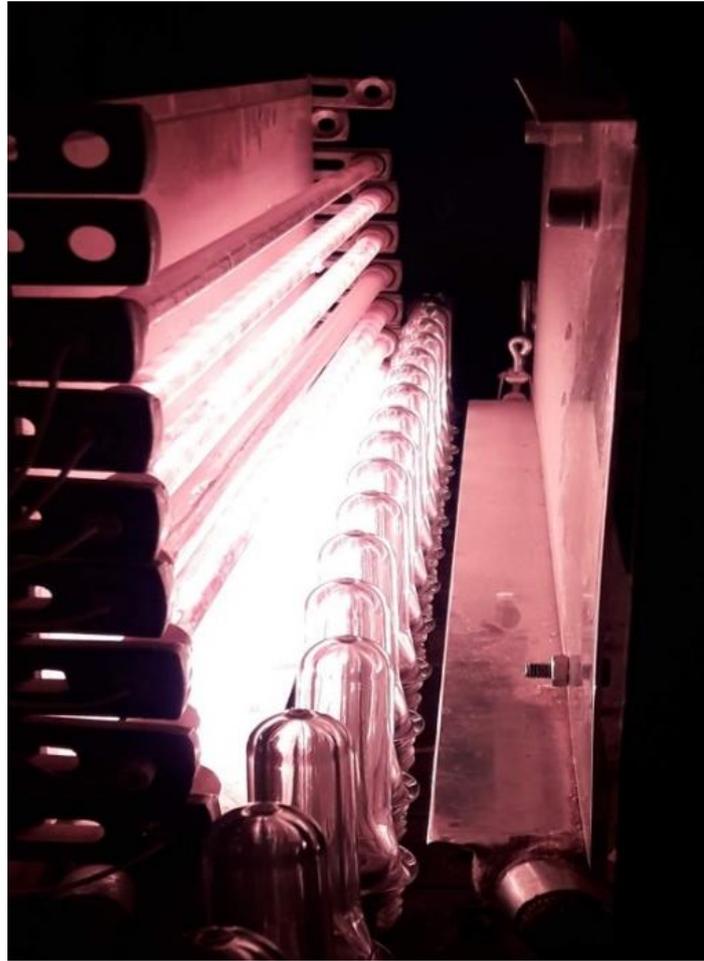
alrededor de su eje longitudinal (8) y siendo desplazadas a lo largo de una pluralidad de dispositivos de calefacción (5), caracterizado porque se explora el contorno exterior de una preforma (6, 7) a calentar mediante dispositivos de exploración (4) y los dispositivos de calefacción (5) se ajustan según el contorno exterior explorado mediante un acoplamiento a los dispositivos de exploración” (Hofstätter, 2012).

Figura 10. Esquema para el calentamiento de preformas



Fuente: Austria Patente n° E04450199, 2012.

Figura 11. Calentamiento de preformas



Elaboración Propia

El beneficio de esta patente es la de optimizar la distribución del calor necesario para el ablandamiento de la preforma, es decir podemos controlar por zonas la distribución de calor y solo a ciertas áreas de la preforma.

Para nuestro caso, la preforma de 23.6 g. utilizaremos la temperatura general de $95^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}$ esta temperatura brinda el performance adecuado para el alto rendimiento de la preforma. El desbalance de 2° se debe a que la temperatura no es constante para todo el proceso, debido a factores externos es necesario que el operador este pendiente de este valor para la obtención de una preforma acorde para su transformación. Después

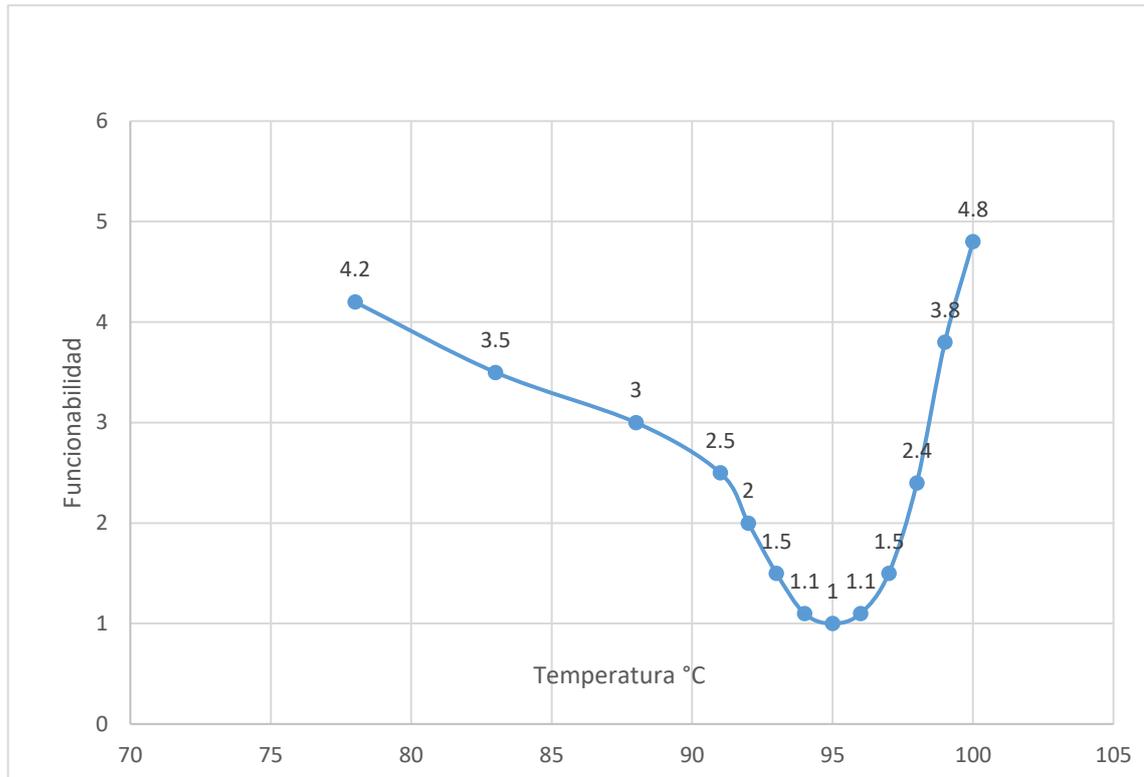


de realizar pruebas se obtuvo la siguiente tabla, donde 1 es el estado óptimo para el correcto soplado y 4.8 representaría a la inoperatividad completa del material.

Tabla 3: Temperatura correcta para el uso de la preforma

Temperatura °C	Funcionabilidad
78	4.2
83	3.8
89	3
91	2.5
92	2
93	1.5
94	1.1
95	1
96	1.1
97	1.5
98	2.4
99	3.8
100	4.8

Figura 12: Temperatura vs funcionabilidad de la preforma PET



Elaboración Propia

De la Figura 12, se determina que para el correcto uso de la preforma de 23.6 g. la temperatura oscila entre 93 a 97 °C, en este intervalo la botella obtenida no presenta alteraciones de fabricación, menos de esta temperatura genera un perlado en la superficie de la temperatura que denota la mala dispersión del material. A mayor temperatura la preforma se sobrecaliente, presentando una contextura lechosa la que dificulta su uso, por lo tanto, se define la temperatura de $95^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}$ como la temperatura de uso de la preforma 23.6 g.

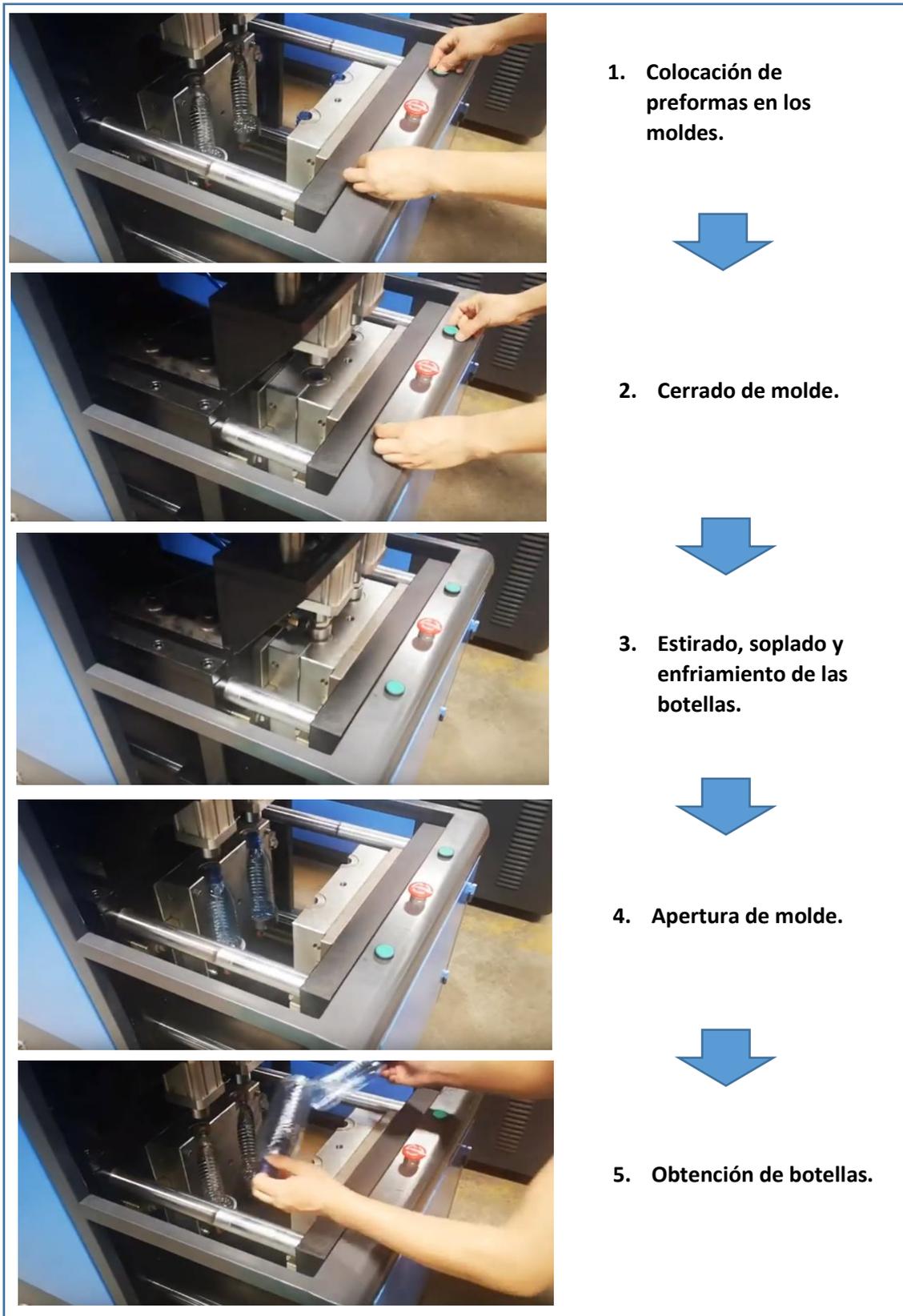
3.1.4 Proceso de soplado

Una vez alcanzado el ablandamiento necesario para la transformación de la preforma en botella, esta se coloca en los moldes instalados en la maquina sopladora.



- Colocar las preformas en los moldes.
- Cierre del molde.
- Estirado, soplado y enfriamiento.
- Apertura del molde.
- Obtención de la botella.

Figura 13: Infografía del proceso de soplado



Elaboración Propia

3.1.5 Almacenaje producto terminado

Unas ves obtenidas las botellas estas se envasan en paquetes para su comercialización, en nuestro caso de la preforma de 23.6 g, estas generan botellas de 500 ml. Que son empaquetadas en bolsas de 400 Unid. Y apiladas en el almacén final.

Figura 14: Paquetes de botellas terminadas para su comercialización



Elaboración Propia

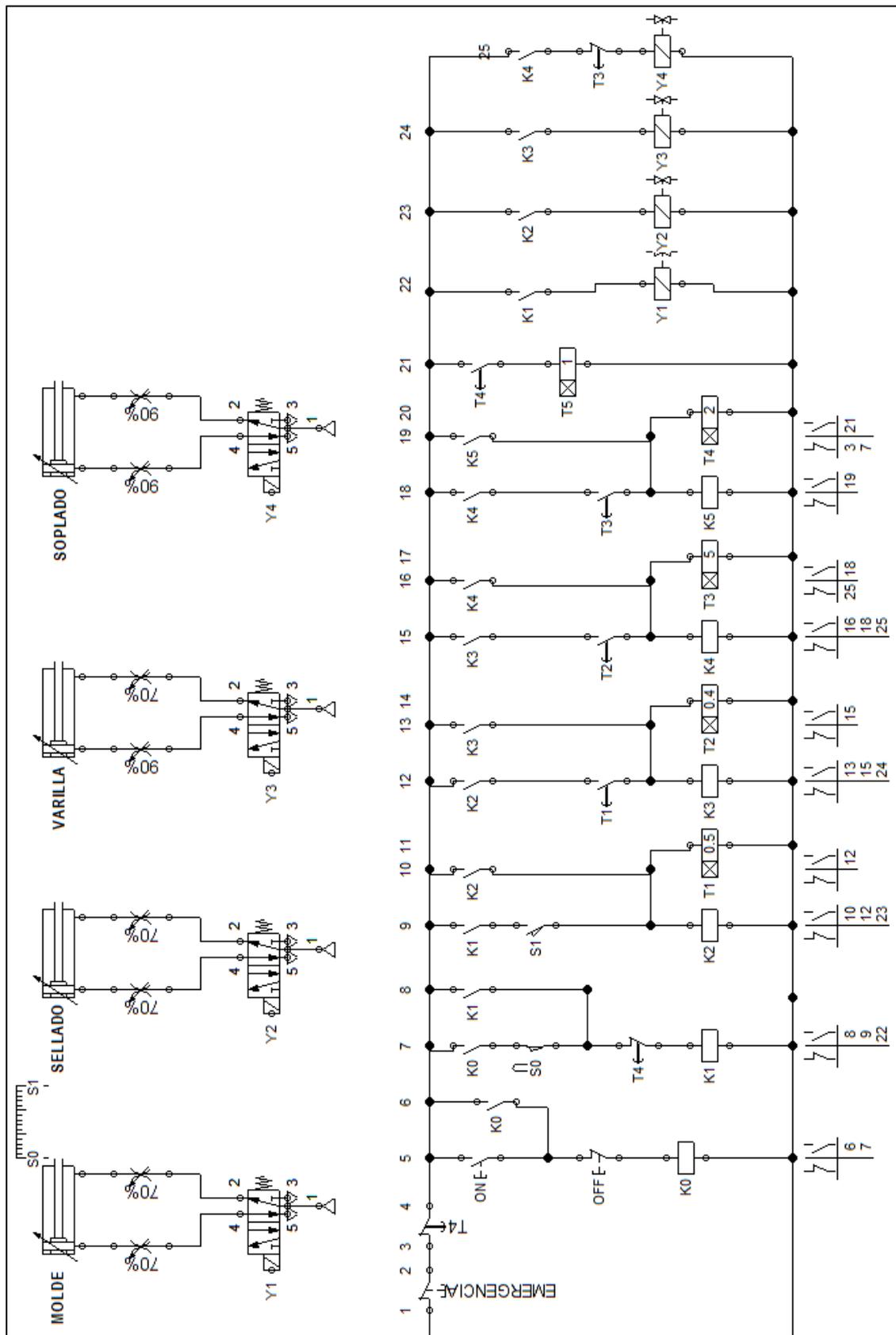


3.2 DETERMINACIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO

Nuestro objeto de estudio se ubica en el proceso de soplado de preforma, exactamente en el estirado y soplado de botella. Esto sucede cuando se cierra el molde.

Esta etapa se desarrolla en la maquina sopladora y es controlado por una tarjeta de control propia de la marca, en la cual el diagrama de mando es patente privada. Para nuestro estudio diseñamos el circuito de mando en el Programa FluidSIM®, propiedad de la empresa FESTO. Y representa de forma clara y precisa el comportamiento del sistema de soplado.

Figura 15: Diagrama de control de maquina sopladora



Elaboración Propia



Dónde:	para 500 ml.
T1: Tiempo de sellado:	0.18 segundos
T2: Tiempo de estirado de varillas:	0.45 segundos
T3: Tiempo de soplado:	5.00 segundos
T4: tiempo de enfriado:	2.00 segundos

La presión del aire de trabajo del sistema es de 120 psi y la presión de soplado es de 250 psi. Este último es la presión que se inyecta de manera directa a las botellas.

Nuestro objetivo es la fabricación de botella de pared delgada, entonces haciendo las pruebas necesarias obtenemos lo siguiente:

Intentamos:

1. Reducir la presión de soplado de 250 psi a 200 psi.
 - Material se acumula en la parte del cuello de botella.
 - La formación de la base es incompleta
2. Reducir la velocidad de estirado de varillas.
 - Genera deformación de la moldura del cuello
3. Aumentar la velocidad del estirado de la botella
 - Material se acumula en la parte inferior de la botella

A estos resultados resumimos que, si intentamos soplar una botella fuera de las condiciones contempladas en el performance de fabricación, no obtenemos resultados favorables.



Según nuestra hipótesis que es: “incrementar un flujo de aire de menor presión antes del momento de soplado y que colabore con el estiramiento de la preforma para que esta pueda desarrollar una distribución correcta del material”. Y viendo el comportamiento de nuestra maquina consideramos lo siguiente:

1. Agregamos una válvula externa al sistema, que considere:
 - a. Accionamiento por electroválvula de baja presión.
 - b. Tiene que soportar presión de uso de más de 200 psi que es la presión de soplado.
2. Agregamos un relé temporizador, para controlar el tiempo de encendido de esta válvula extra.

3.3 DISEÑO DE VÁLVULA

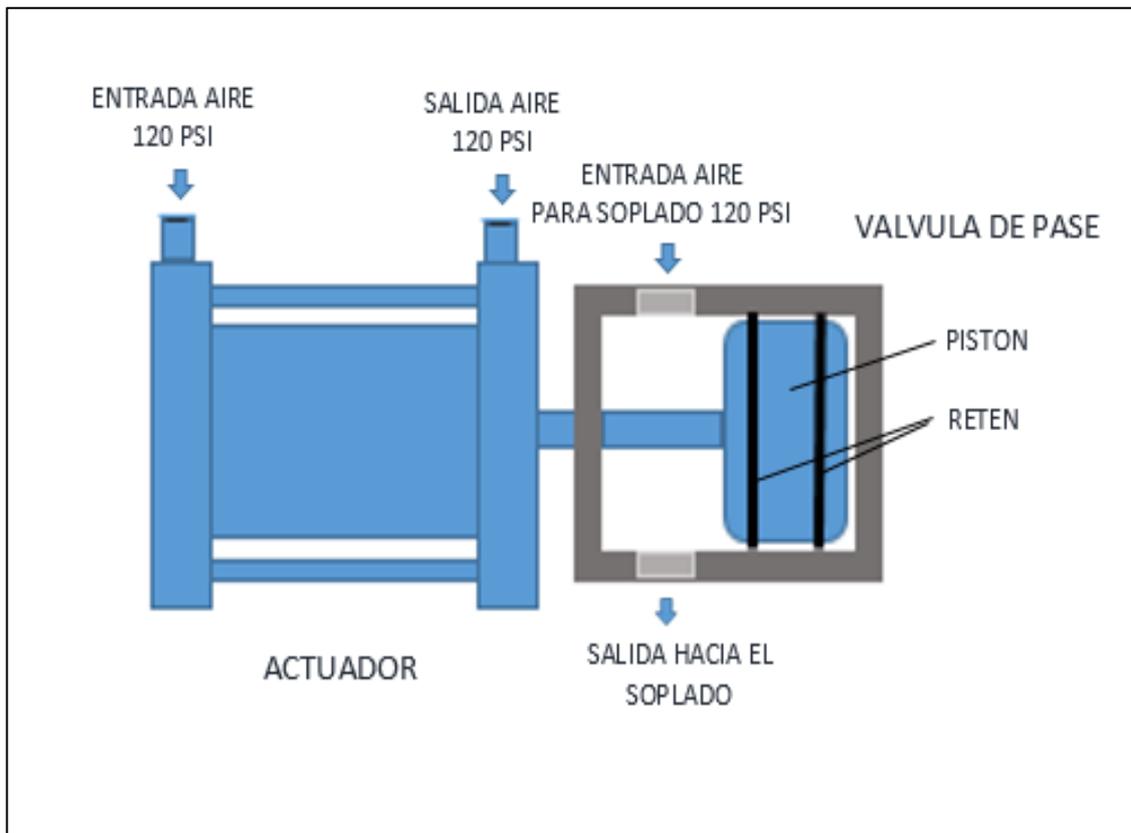
Para comenzar determinamos cuales son las características del sistema.

Presión de aire de trabajo : 120 psi \pm 15 psi

Presión de aire de operación : 250 psi \pm 15 psi

Espacio disponible : 100x100x300 mm

Figura 16: Boceto de la válvula de pre soplado



Elaboración Propia

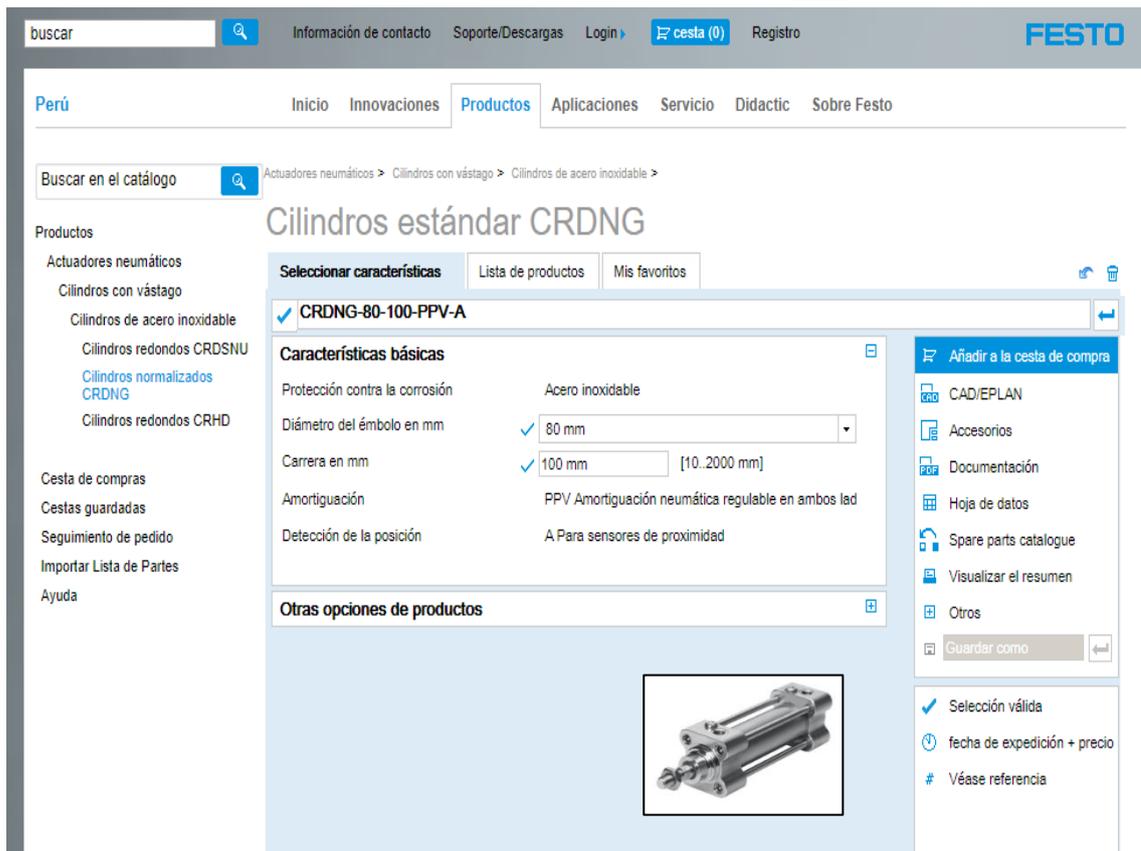
3.3.1 Actuador

Requerimos que sea:

De un diámetro de pistón de 8 cm a 9 cm.

De carrera de 10 a 12 cm.

Figura 17: Actuador para nuestra válvula de pre soplado



Fuente: https://www.festo.com/cat/es-pe_pe/products_CRDNG.

Presión a soportar: 105 – 135 psi de los catálogos ya existentes seleccionamos: el CRDNG-80-100-PPV-A de FESTO.amiento seleccionamos una válvula 5/2, de accionamiento eléctrico 24 V. DC

3.3.2 Electro válvula

De los catálogos escogemos la 4V210-08 ROME, la cual cumple con los requerimientos de nuestro equipamiento.

Figura 18: Electro válvula 5/2



Fuente: <https://www.romecoindustrial.com/producto/electrovalvula-neumatica-4v210-08/>

3.3.3 Diseño de la válvula de pase

Para este diseño, utilizamos el aluminio como material base para el cuerpo, puesto que este material presenta mejor resistencia a la oxidación.

Las condiciones a soportar son las siguientes: presión a soportar, 220 psi; espacio 10x10x15 cm.

La función es la de una válvula de pase simple, 2 entradas y 1 vía.

El espesor del cilindro es:

$$\sigma = \frac{P.r}{2e} \rightarrow \text{despejando "e"} \rightarrow e = \frac{P.r}{2\sigma}$$

Dónde: e = Espesor del cilindro

σ = esfuerzo normal permisible = 62 MPa (para el aluminio) = 9 kpsi. Anexo A

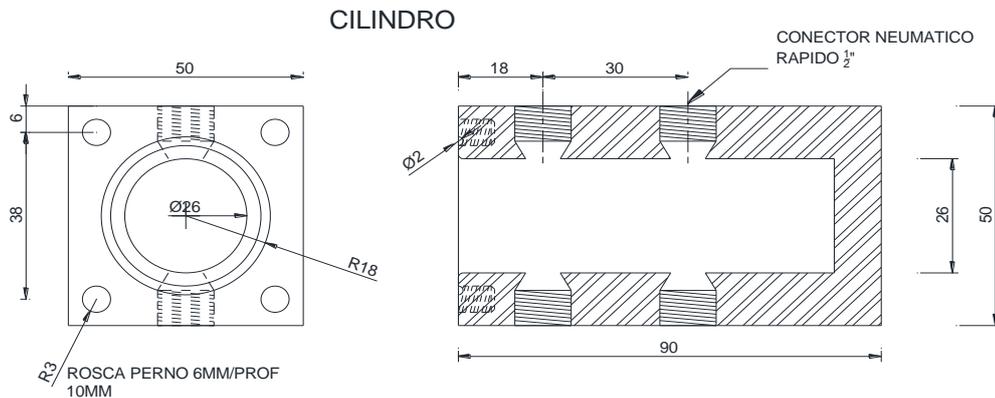
P = presión del interior del cilindro = 220 psi

R = radio = 1 pulg.

$$e = \frac{P.r}{\sigma} = \frac{220 \text{ psi} * 1 \text{ pulg}}{2 * 9 \text{ kpsi}} = 0.012 \text{ pulg}$$

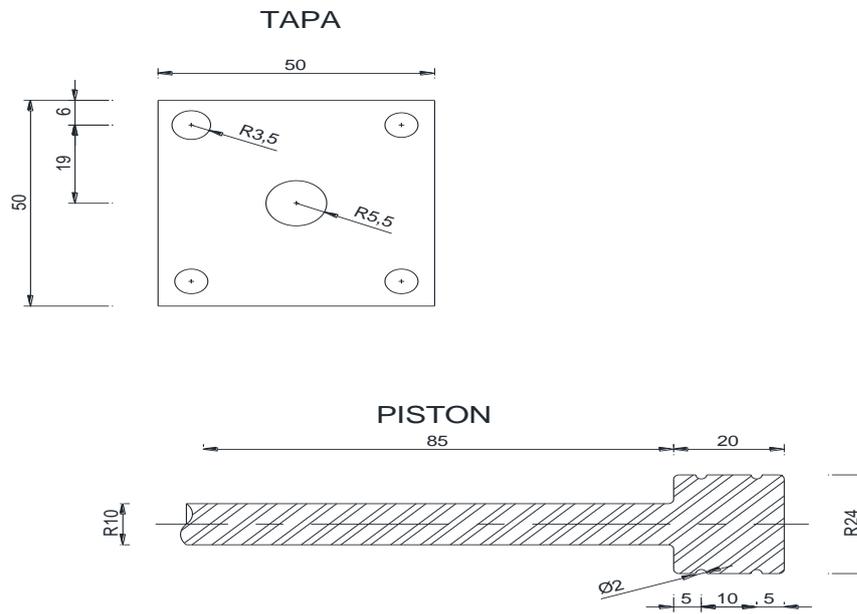
Considerando este resultado diseñamos los elementos de esta válvula. El plano de construcción se encuentra en el ANEXO B.

Figura 19: Diseño del cilindro



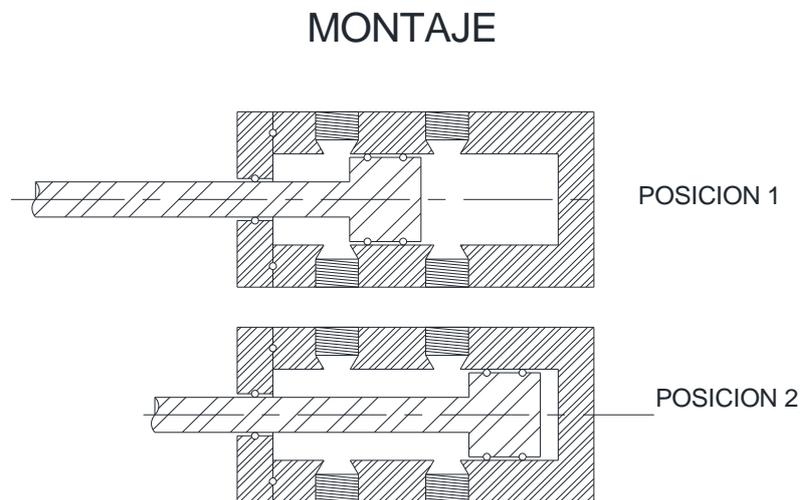
Elaboración Propia

Figura 20: Diseño del pistón y la tapa



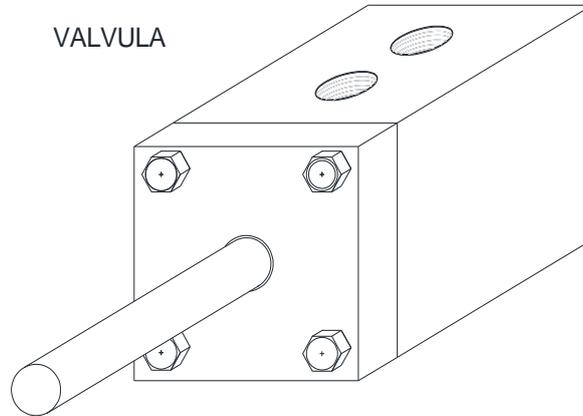
Elaboración Propia

Figura 21: Montaje de la válvula.



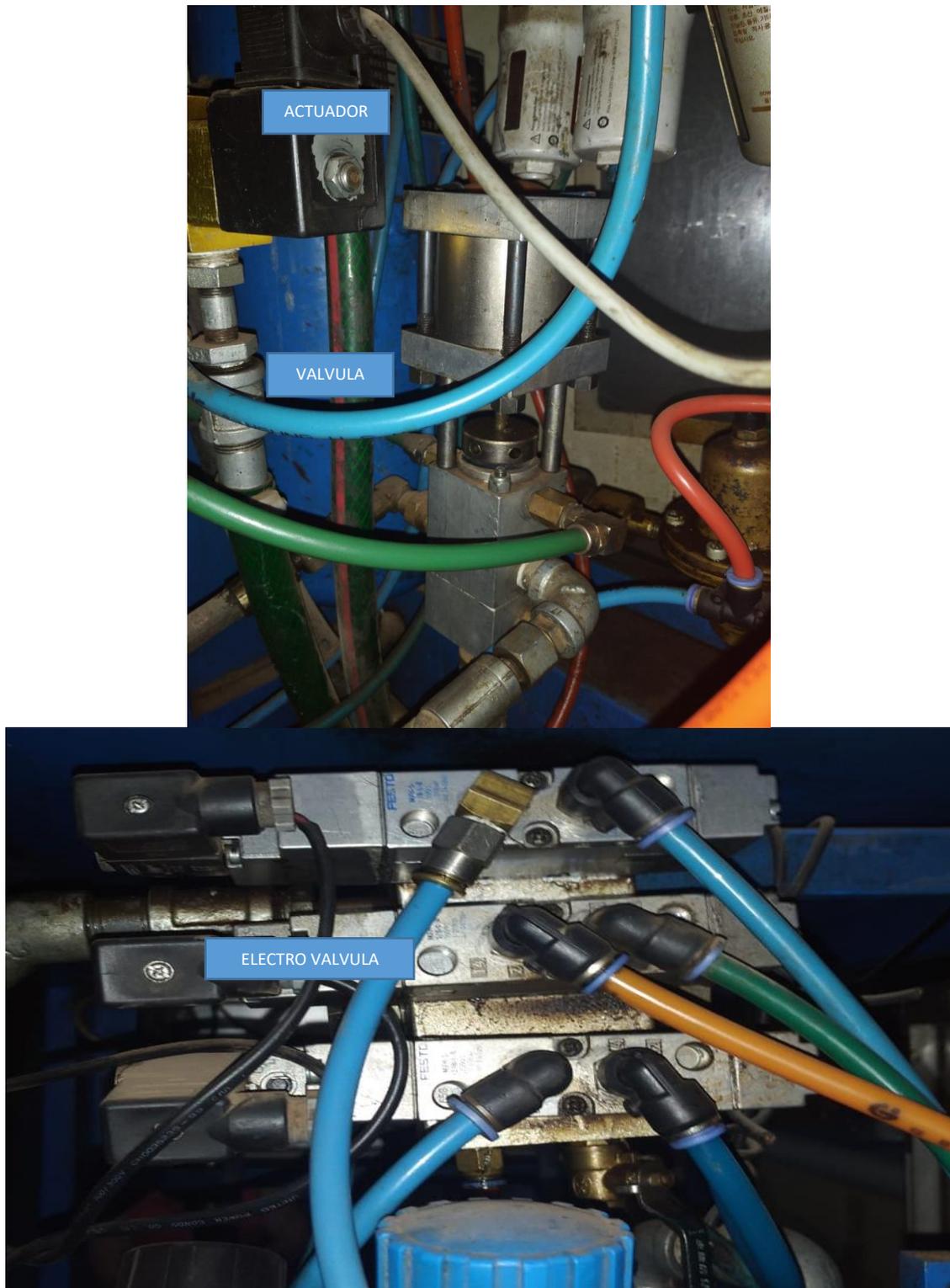
Elaboración Propia

Figura 22: Ensamblado final de la válvula



Elaboración Propia

Figura 23: Ensamblado final de la válvula de presoplado

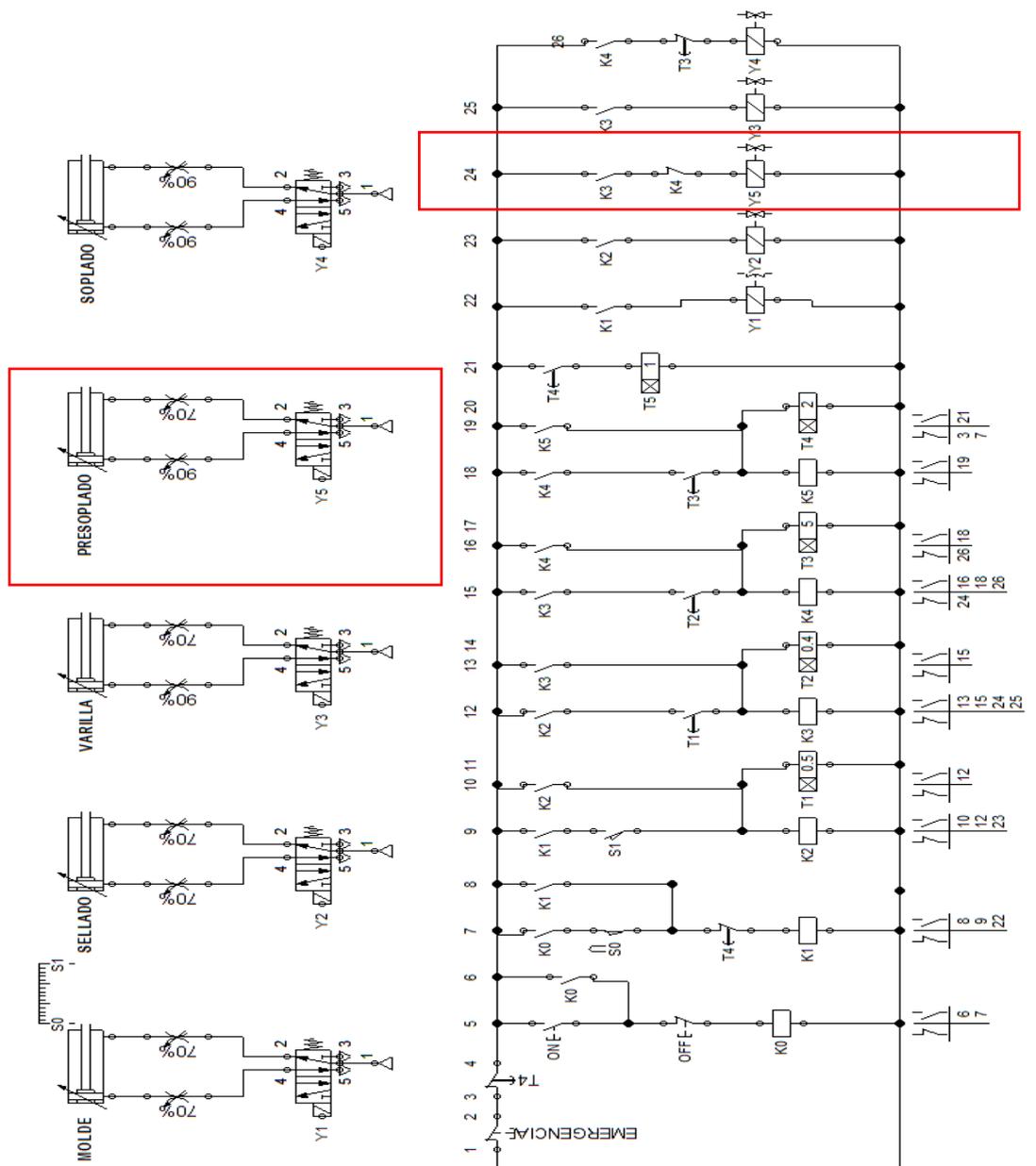


Elaboración Propia

3.4 DISEÑO DEL BUCLE DE OPERACIÓN

En el programa de soplado agregaremos un bucle de operación que debe de estar entre el soplado y estirado, el cual lo denominaremos: “presoplado”, que tiene que comandar el tiempo de apertura de la electroválvula para la válvula de pase de aire a presión baja.

Figura 24: Diagrama de control, incluido el presoplado



Elaboración Propia



Donde, los espacios marcados con rojo son los que hemos adicionado para la ejecución del presoplado.

A partir de acá el proceso de soplado se ve incrementado en un parámetro, el cual es el tiempo de presoplado. Que va de la mano del tiempo del estirado de la varilla. El accionamiento de la válvula de presoplado por sus parámetros de diseño no puede trabajar junto con la válvula de soplado puesto que el soplado se da en mayor presión de aire.

Dónde:	para 500 ml.
T1: Tiempo de sellado:	0.18 segundos
T2: Tiempo de estirado de varillas:	0.45 segundos
T3: Tiempo de soplado:	5.00 segundos
T4: tiempo de enfriado:	2.00 segundos

El proceso de soplado en su ejecución está contemplado en el Anexo C. en donde podemos apreciar el comportamiento de la válvula de presoplado.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con el nuevo sistema de presoplado, comenzamos las pruebas de soplado siendo estas determinadas con los siguientes parámetros:

Cantidad de material

Tiempo de presoplado

Y temperatura del horno

4.1 PRUEBAS REALIZADAS

Estas se elaboran con las siguiente preformas:

23.6 g, 22g, 17g, 16g y 13.5g

Figura 25: Clasificación de preformas por su peso



Elaboración Propia



Conservado los parámetros originales de soplado,

Tiempos: para 500 ml.

T1: Tiempo de sellado: 0.18 segundos

T2: Tiempo de estirado de varillas: 0.45 segundos

T3: Tiempo de soplado: 5.00 segundos

T4: tiempo de enfriado: 2.00 segundos

Horno: 93°-96°C

Del cual determinamos que el tiempo del presoplado es de 0.45 segundos, son parámetros para la preforma de 23.6 g. original para la botella de 500 ml.

Para hacer las pruebas utilizamos los siguientes parámetros

Tiempos: para 500 ml.

T1: Tiempo de sellado: 0.18 segundos

T2: Tiempo de estirado de varillas: 0.45 segundos

T3: Tiempo de soplado: 5.00 segundos

T4: tiempo de enfriado: 2.00 segundos

Horno: 93°-96°C

Tiempos: para 500 ml.

T1: Tiempo de sellado: 0.18 segundos

T2: Tiempo de estirado de varillas: 0.37 segundos



T3: Tiempo de soplado: 4.25 segundos

T4: tiempo de enfriado: 1.50 segundos

Horno: 88° - 90°C

Tiempos: para 500 ml.

T1: Tiempo de sellado: 0.18 segundos

T2: Tiempo de estirado de varillas: 0.31 segundos

T3: Tiempo de soplado: 4.05 segundos

T4: tiempo de enfriado: 1.50 segundos

Horno: 80° - 85°C

Tiempos: para 500 ml.

T1: Tiempo de sellado: 0.18 segundos

T2: Tiempo de estirado de varillas: 0.25 segundos

T3: Tiempo de soplado: 3.80 segundos

T4: tiempo de enfriado: 1.19 segundos

Horno: 75° - 80°C

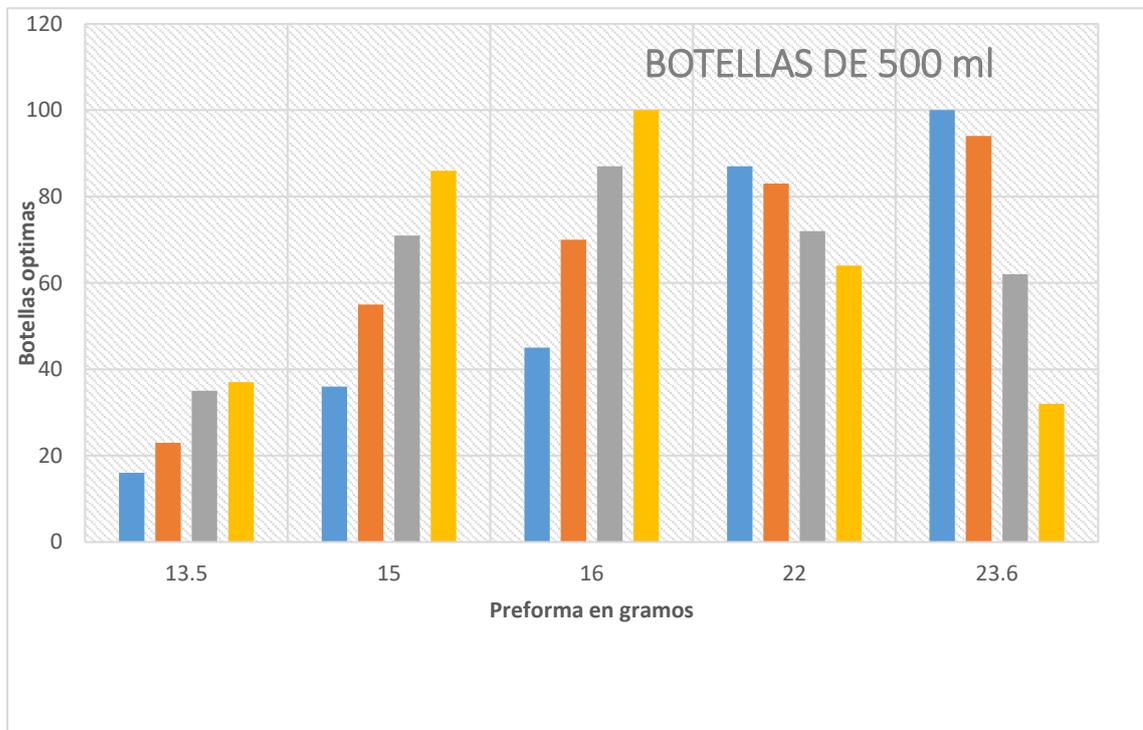
De una muestra de 100 unid. Se obtiene:

Tabla 4: Botellas óptimas según su peso y temperatura

		TEMPERATURA			
		96°C	89°C	82°C	75°C
PREFORMA (G)	13.5	16	23	35	37
	15	36	55	71	86
	16	45	70	87	100
	22	87	83	72	64
	23.6	100	94	62	32

Elaboración Propia

Figura 26: Cantidad de Botellas obtenidas según peso y temperatura



Elaboración Propia



De la figura 26 obtenemos que el mejor resultado se da en la preforma de 16 g a una temperatura de 72-76°C obteniendo un 100% de producción, y para la preforma de 23.6 g a una temperatura de 94°-98°C también se obtiene un performance optimo, resultado esperado puesto que son las condiciones ideales de soplado de las botellas de 500 ml.

Se obtuvo los siguientes parámetros:

Tiempos: para 500 ml. En 16 g.

T1: Tiempo de sellado: 0.18 segundos

T2: Tiempo de estirado de varillas: 0.25 segundos

T3: Tiempo de soplado: 4.25 segundos

T4: tiempo de enfriado: 1.19 segundos

Horno: 72°-76°C

Figura 27: Botellas de 500 ml con presoplado



Elaboración Propia

En el Anexo D, tenemos los diferentes defectos obtenidos en la elaboración de las pruebas.



4.2 RESULTADOS

Obtuvimos una botella de uso comercial, la cual nos proporciona los siguientes resultados: una reducción de 23.6 g a 16 g, casi 7.6 g/botella de ahorro, con lo cual en una jornada de producción de 8 horas se obtiene:

$$8000 \text{ botellas} \times 7.6 \text{ g/botella} = 60800 \text{ g} = 60.8 \text{ kg}$$

De la producción total de ECOPLAST SAC, podemos determinar:

$$67840 \text{ botellas} \times 7.6 \frac{\text{g}}{\text{botella}} = 515\,584 \text{ g} \cong 515 \text{ kg}$$

Esto representa 515 kg de material ahorrado en un mes de trabajo, con lo cual obtenemos un aproximado de más de 6 toneladas de material pet ahorrado, en las instalaciones de ECOPLAST SAC.

Al producir esta botella con un material de menor gramaje, también reducimos los costos de operación tanto en temperatura y en aire comprimido.

Con 23.6 g temperatura: $96 \pm 2^\circ\text{C}$ aire comprimido: 220 psi a 5 s.

Con 16g temperatura: $75 \pm 2^\circ\text{C}$ aire comprimido: 220 psi a 3.8 s.

De estos datos determinamos un ahorro de 21 % en electricidad para el horno y 24% para las compresoras de alta presión, consideramos un ahorro de 22% en el consumo de energía eléctrica para la producción de este envase.



V. CONCLUSIONES

PRIMERA: He determinado que al diseñar un sistema de presoplado consistente en una válvula de pase la cual es accionada por una electro válvula y agregándola al sistema de soplado de una maquina sopladora pet semiautomática de dos cavidades, pudimos obtener botellas de paredes más delgadas. Dándonos como resultados un ahorro de más de 6 toneladas de material plástico (PET) y un ahorro de 22% del consumo eléctrico habitual, en el proceso de fabricación de botellas de 500ml, en un tiempo de 1 año de actividades. Con estos resultados podemos determinar el ingreso de ECOPLAST SAC al mercado de las botellas eco amigable.

SEGUNDA: Las botellas obtenidas con el sistema de presoplado cumplen con el estiramiento necesario para su correcto moldeo y con las características necesarias para su comercialización, son botellas de pared más delgada.

TERCERA: Las botellas obtenidas con el sistema de presoplado cumplen con el ahorro de material PET en su fabricación.

CUARTA: Las botellas obtenidas con el sistema de presoplado cumplen con el ahorro de energía en su fabricación de 21 % en electricidad para el horno y 24% para las compresoras de alta presión, consideramos un ahorro de 22% en el consumo de energía eléctrica para la producción de este envase.



VI. RECOMENDACIONES

PRIMERA: El proceso de presoplado en la producción de botella se puede aplicar para el 100% del área producción de la empresa ECOPLAST SAC, no obstante, teniendo que cambiar los parámetros de soplado en cada uno de los modelos a fabricar. Con esto se generan muchas más opciones en las investigaciones basadas en la producción y fabricación de envases, así por ejemplo se puede tomar en cuenta: el tipo de calentamiento de la materia prima, el desarrollo de moldes con auto refrigeración para la producción de envases, la reutilización del aire de soplado, etc.

SEGUNDA: Para los siguientes trabajos de investigación basados en los procesos de fabricación de botellas PET, se recomienda tener en cuenta la cantidad de material a utilizar y las opciones de materiales ecológicos, no obstante el uso de cualquier material biodegradable en la producción de botellas tendría un impacto ecológico favorable para la conservación de nuestro planeta.

TERCERA: Se recomienda tener en cuenta que el ahorro de material en la producción de botellas no es sólo la mayor contribución para el medio ambiente, si no también el poder aplicar estas investigaciones para el ahorro de energía en su proceso de fabricación y también considerar los procesos de reciclajes adhoc para cada tipo de envase. Tomando en cuenta estos dos perfiles damos a conocer dos nuevas aplicaciones para esta investigación: “Proceso de recuperación de aire comprimido en la fabricación de botellas eco amigables” y “Fabricación de telas poliéster a partir de botellas PET recicladas”; de esta manera podemos obtener resultados más prácticos y amplios con respecto al impacto del PET en el Medio Ambiente.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Castro, L., Del Real, J. C. & Rodriguez, J. (2010). *Procesos industriales para materiales no metálicos: (2ª ed.)*. Madrid: Vision Net.
- Cobos, R. (02 de febrero de 2016). *Boletín sociedad española hidrología médica*. doi:10.23853/bsehm.2017.0212
- DNest Agency. (12 de 02 de 2020). *AMBAR*. Recuperado el 12 de 02 de 2020, de <https://ambarplus.com/plastico-medio-ambiente/>
- Hofstätter, N. (2012). *Austria patente nº E04450199*. Obtenido de <https://patentados.com/2012/el-calentamiento-de-preformas>
- Huang, H. (29 de octubre de 2019). Simulación de envases de plástico en AMCOR, un caso de estudio. (3ds.com, Entrevistador) Obtenido de <http://www.3dcadportal.com/simulacion-de-envases-de-plastico-en-amcor-un-caso-de-estudio.html>
- Husky Injection Molding Systems. (15 de 04 de 2007). <https://www.interempresas.net/>. Obtenido de <https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/17047-Aligeramiento-de-botellas-donde-esta-el-limite.html>
- Mariano. (30 de mayo de 2011). *Tecnología de los plásticos*. Recuperado el 18 de 02 de 2020, de <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/05/pet.html>
- Miraya, F. (2002). 5 de junio - Día Mundial del Ambiente – Contaminación Acústica Urbana. Laboratorio de Acústica y Electroacústica, 2994(27), 5. Recuperado de <http://www.fceia.unr.edu.ar/acustica/biblio/05-06-02.pdf>



- Naranjo, M. (16 de mayo, 2015). Agenda para el desarrollo sostenible. Comunidad y salud, 13(2), 1-2. Disponible en <http://servicio.bc.uc.edu.ve/fcs/index1.htm>
- Lacruz, F. (2005). La empresa ambientalmente responsable. Una visión de futuro. Economía, 21, 39-58. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/1956/195617349003.pdf>
- Pabón, J. M. & Prieto, J. D. (16 de 6 de 2016). <http://repositorio.ucundinamarca.edu.co/>. Obtenido de <http://repositorio.ucundinamarca.edu.co/handle/20.500.12558/281>
- PET, P. (s.f.). *Diseño Lightweight: Contribuyendo con el consumo responsable usando menos material*. Obtenido de <https://proyectospet.com/reduccion-de-peso-en-botellas-de-pet>
- Ramos, S. (2019). <https://repository.eafit.edu.co/>. Obtenido de https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/15975/Stefania_RamosFranco_2019.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Wiese, A. (julio de 2012). *Botellas de PET: El peso no lo es todo*. Obtenido de <http://www.plastico.com/temas/Botellas-de-PET,-El-peso-no-lo-es-todo+3088615>
- Yoshida, S. (11 de 03 de 2016). *A bacterium that degrades and assimilates poly(ethylene terephthalate)*. Obtenido de <https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/153094-Bacterias-capaces-que-devorar-el-plastico.html>

ANEXOS

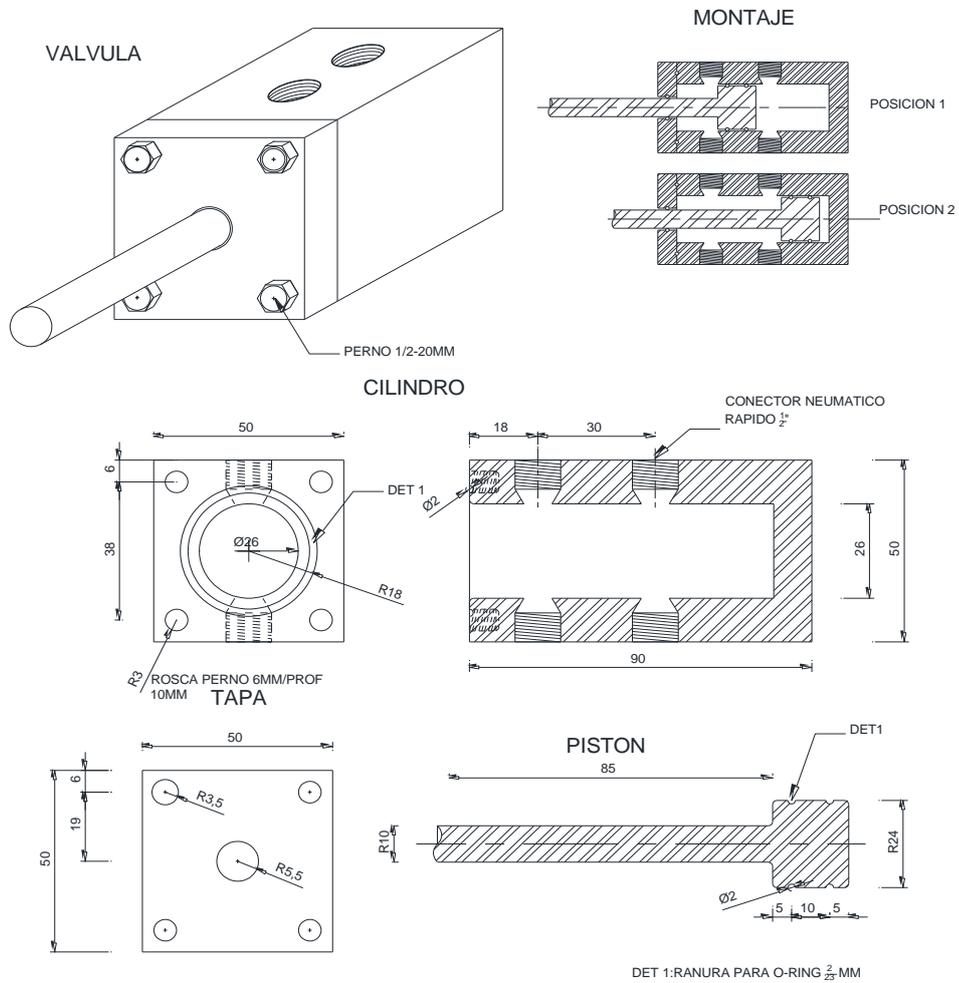
Anexo 1. Propiedades del aluminio

TABLA 3 Propiedades mecánicas de algunas aleaciones de aluminio fundido
Datos de INCO.* Valores aproximados. Consulte a los fabricantes de los materiales para información más precisa

Aleación de fundición de aluminio	Estado	Límite elástico a la tensión (convencional al 2%)		Resistencia máxima a la tensión		Elongación en 2 in %	Dureza Brinell -HB
		kpsi	MPa	kpsi	MPa		
43	fundición en molde permanente—tal y como está fundido	9	62	23	159	10	45
195	fundición en arena—tal y como está fundido	24	165	36	248	5	-
220	fundición en arena—solución tratada térmicamente	26	179	48	331	16	75
380	fundición en molde—tal y como está fundido	24	165	48	331	3	-
A132	molde permanente de fundición—tratamiento térmico + 340°F	43	296	47	324	0.5	125
A142	fundición en arena—tratamiento térmico + 650°F	30	207	32	221	0.5	85

**Properties of Some Metals and Alloys*, International Nickel Co., Inc., Nueva York.

Anexo 2. Plano de construcción de la válvula de presoplado



PLANO DE CONSTRUCCIÓN: VÁLVULA PRESOPLADO

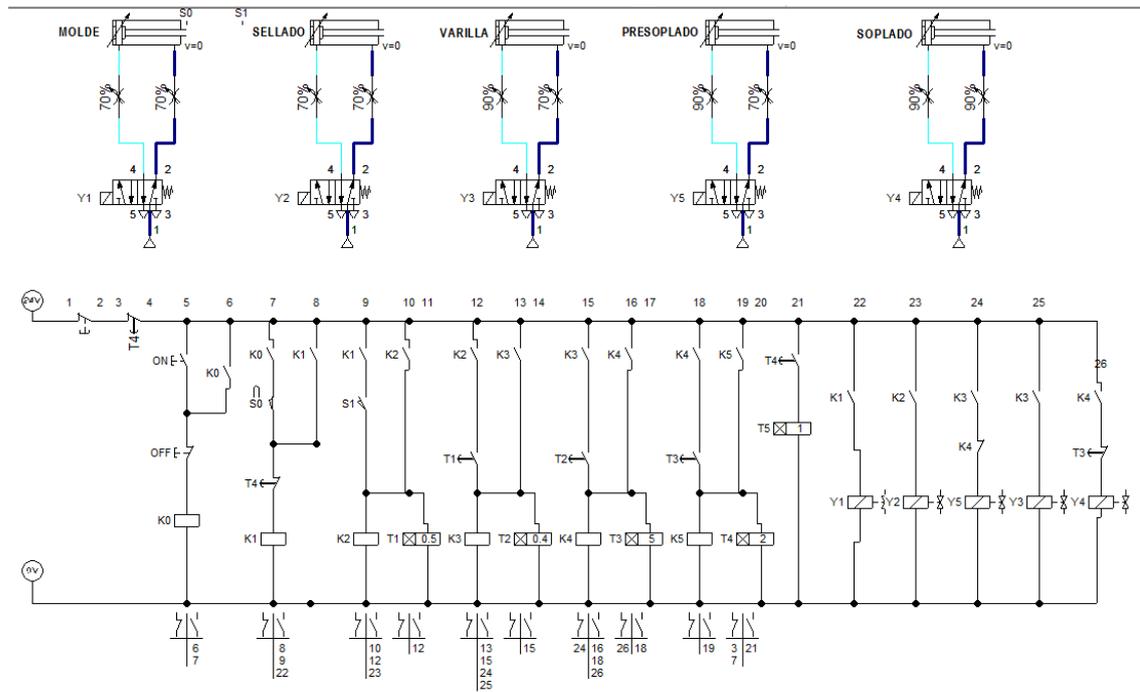
UNAP - EPIME - 2020

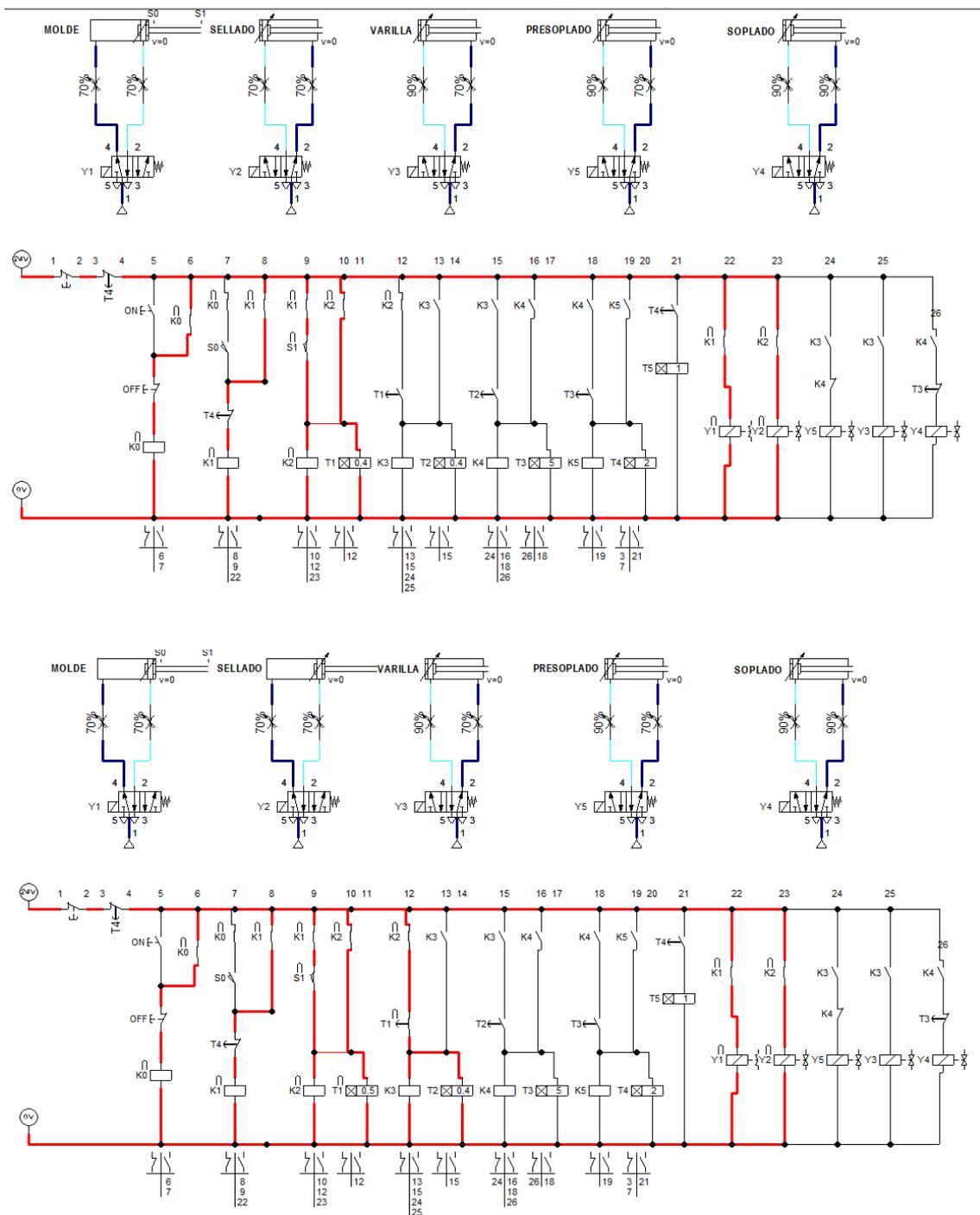
ESCALA: 1/1

FECHA:

Anexo 3. Ejecución del sistema de soplado incluyendo el presoplado

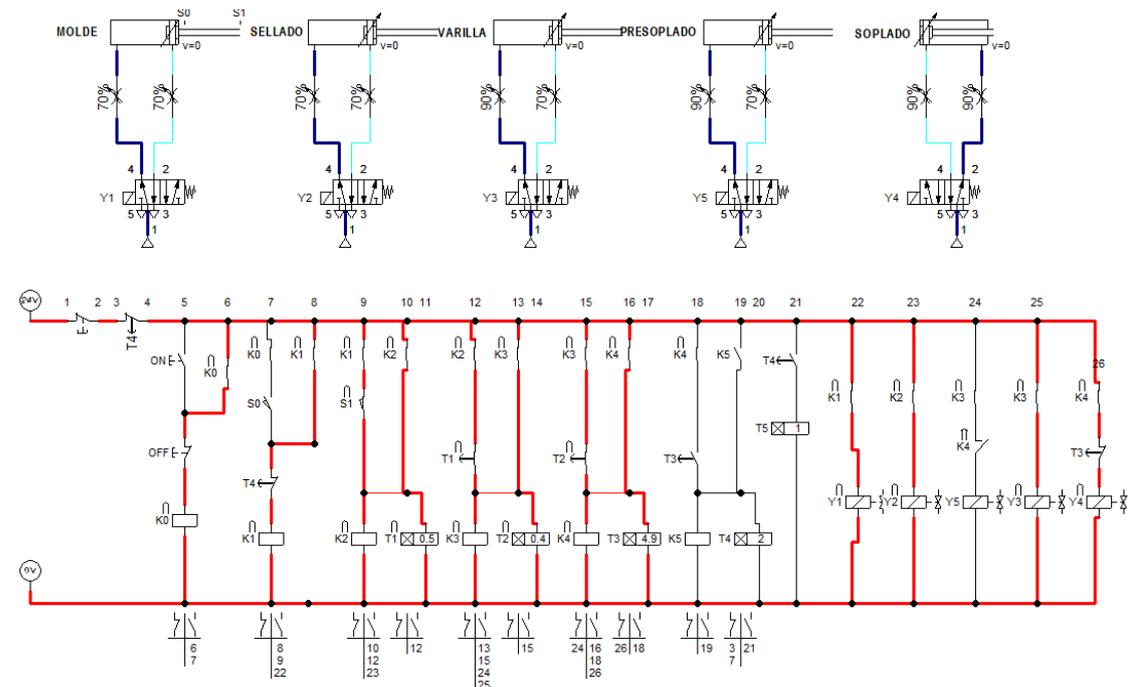
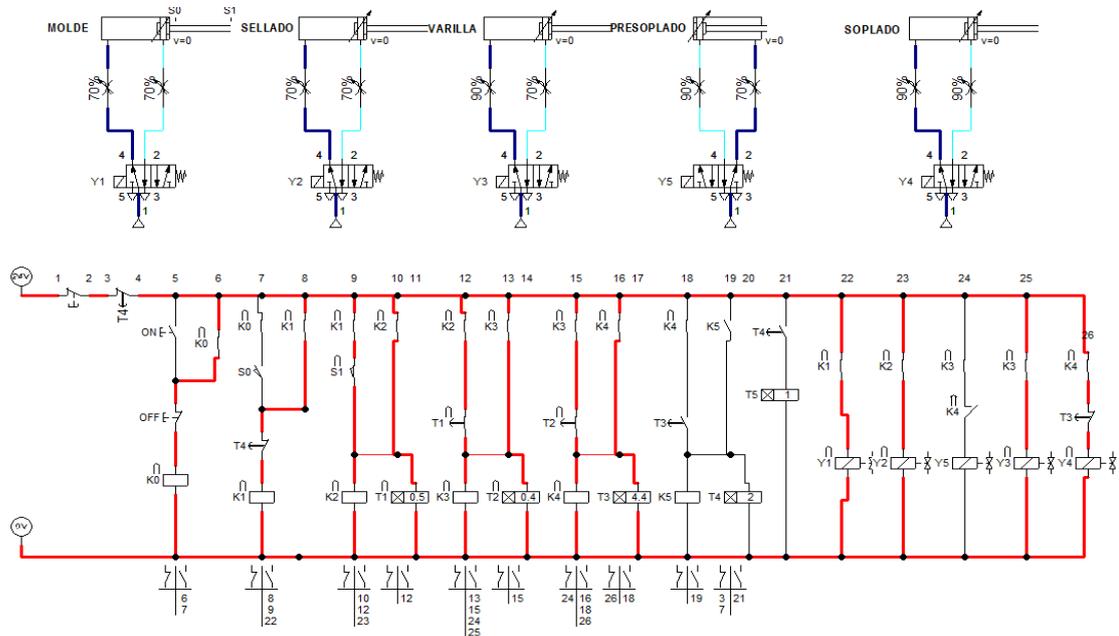
Maquina en standby.





Inicio de bucle: start ON → Cierre de molde.

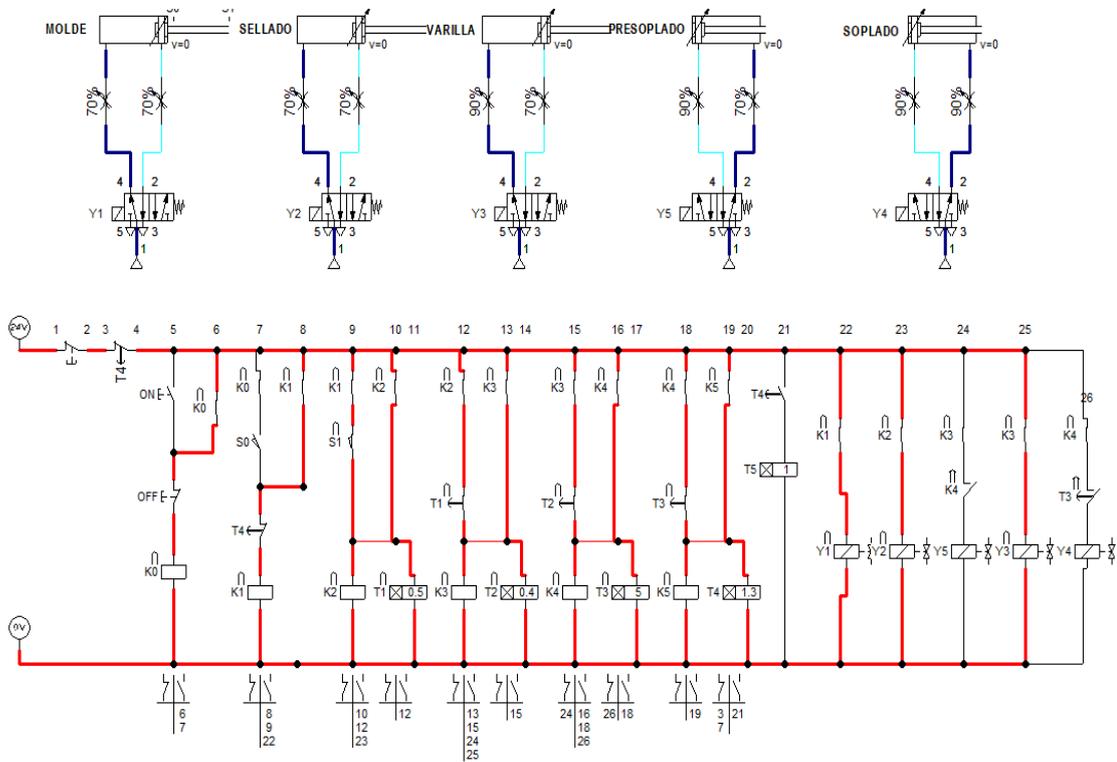
start ON → Cierre de molde → sellado.



start ON → Cierre de molde → sellado → varilla y presoplado.

start ON → Cierre de molde → sellado → varilla → soplado

start ON → Cierre de molde → sellado → varilla → soplado → enfriamiento y apertura de molde



Anexo 4. Defectos en la producción de botellas

PERLADO

Debido al sobre estiramiento del material, ejemplo, la preforma de 13.5 g para 500ml



CUELLO

Debido al mal calentamiento del material, ejemplo, la preforma de 22 g a 75°C





ESTALLIDO

Debido al sobre calentamiento de la preforma, ejemplo, la preforma de 16g a 90°C

