



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

**PROPUESTA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE
APLICACIÓN DE GAS BALL ITT, EN UNA FÁBRICA DE
ENVASES DE VIDRIO, IMPLEMENTANDO EL USO DE
DISPOSITIVOS FOTOELÉCTRICOS**

Víctor Alfredo López Alvarez

Asesorado por el Ing. Rodolio Verlayne Godinez Fuentes

Guatemala, abril de 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE
APLICACIÓN DE GAS BALL ITT, EN UNA FÁBRICA DE ENVASES DE
VIDRIO, IMPLEMENTANDO EL USO DE DISPOSITIVOS FOTOELÉCTRICOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

VÍCTOR ALFREDO LÓPEZ ALVAREZ

ASESORADO POR EL ING. RODOLIO VERLAYNE GODINEZ FUENTES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, ABRIL DE 2008

FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Francisco Javier Gonzalez López
EXAMINADOR	Ing. Carlos Francisco Gressi López
EXAMINADOR	Ing. Saúl Cabezas Durán
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

PROPUESTA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE APLICACIÓN DE GAS BALL ITT, EN UNA FÁBRICA DE ENVASES DE VIDRIO, IMPLEMENTANDO EL USO DE DISPOSITIVOS FOTOELÉCTRICOS,

tema que fuera aprobado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica con fecha seis de julio de 2005 Ref. EIME 185.2005.



Víctor Alfredo López Álvarez

Guatemala 2 de enero 2008

Ingeniero José Bedoya
Coordinador del Área de Potencia
Escuela de Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ing. Bedoya

De manera atenta informo que he revisado el trabajo de graduación titulado: **“PROPUESTA PARA LA AUTOMATIZACION DEL PROCESO DE APLICACIÓN DE GAS BALL ITT EN UNA FABRICA DE ENVASES DE VIDRIO, IMPLEMENTANDO EL USO DE DISPOSITIVOS FOTOELECTRICOS”**, presentado por el estudiante Víctor Alfredo López Alvarez con número de carné 93-12296.

El mencionado trabajo llena los requisitos y cumple con los objetivos planteados por lo que doy mi visto bueno para que proceda a realizar los trámites correspondientes.

Por tanto el autor de esta tesis y mi persona somos responsables por el contenido de las conclusiones de la misma.

Ing. Rodolfo Godínez
ASESOR
Colegiado No. 2112

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

Guatemala, 29 de FEBRERO 2008.

Señor Director:
Lic. María Renate Escobedo Martínez
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
**PROPUESTA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE
APLICACIÓN DE GAS BALL ITT EN UNA FÁBRICA DE
ENVASES DE VIDRIO, IMPLEMENTANDO EL USO DE
DISPOSITIVOS FOTOELÉCTRICOS,** del estudiante, Victor Alfredo
López Álvarez, por considerar que cumple con los requisitos
establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,

ID Y ENSEÑADA TODOS


Ing. José Guillermo Boloya Barrios
Coordinador Areas de Potencia

JGBB/sro





El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; Victor Alfredo López Alvarez titulado: **PROPUESTA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE APLICACIÓN DE GAS BALL ITT EN UNA FÁBRICA DE ENVASES DE VIDRIO, IMPLEMENTANDO EL USO DE DISPOSITIVOS FOTOELÉCTRICOS,** procede a la autorización del mismo.

Ing. Mario Renato Escobedo Martínez

DIRECTOR



GUATEMALA, 25 DE MARZO 2,008.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por el don de la vida y por todos los momentos que en ella me ha permitido disfrutar. A mi madre, por su invaluable ejemplo, por sus inmensas muestras de amor, por su paciencia y dedicación para enseñarme el mejor camino por seguir y por su constante apoyo para mantenerme en él. A Elías que me ha brindado su cariño y apoyo en todo momento. A mi esposa, Débora, por su amor incondicional, por ser mi soporte en todo momento y el complemento exacto de mi vida, a nuestros hijos Bryan y Andrés, por ser el regalo más grande que Dios nos ha dado. A mis hermanas Yadi, Maritza, Vicky, Maria Fernanda y Sandi Gabriela, por su cariño y todos los momentos felices que hemos pasado juntos. A mis abuelos, mis tíos, primos, suegros, mis cuñados y demás familiares, por su compañía y cariño.

A la gloriosa Universidad de San Carlos de Guatemala, a mis compañeros Juan Francisco Catalán, Javier Soto, Obed Ajanel, y todos los demás con quienes tuve la dicha de compartir estos años de estudio. A mi asesor, el Ing. Rodolio Godínez, por la dedicación y el tiempo brindado a la realización de este trabajo.

A Vidriera Guatemalteca, S.A., por brindarme la oportunidad de desarrollar este trabajo y por ser mi segunda escuela profesional, en la que continúo aprendiendo día con día. A mis compañeros de trabajo por su amistad y cariño sinceros.

DEDICATORIA

A mi madre: **María Hortencia Alvarez Hernández**, indudable merecedora de este momento.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VI
GLOSARIO	XI
OBJETIVOS	XIII
RESUMEN	XIV
INTRODUCCIÓN	XVI
1 PROCESO Y FABRICACIÓN DEL VIDRIO	1
1.1. Definición y conceptos	1
1.1.1. Origen y evolución del vidrio	1
1.1.2. El vidrio y su composición	1
1.1.3. Tipos de vidrio y su aplicación	3
1.1.4. Ciclo de producción del vidrio	3
1.1.4.1. Fundición	5
1.1.4.2. Formado del vidrio	7
1.1.4.3. Proceso Soplo Soplo	8
1.1.4.4. Proceso Prensa Soplo	8
1.1.4.5. Templado	10
1.1.4.6. Empaque y almacenaje	11
1.1.5. Ciclo de reciclaje	11
1.2. Identificación del sistema a automatizar	12
1.2.1. Tratamientos que deben aplicarse a los envases de vidrio	13
1.2.2. Tratamiento interno Ball IT	14

1.2.3.	Teoría de la durabilidad química	14
1.3.	Condiciones actuales de funcionamiento	15
1.3.1.	Esquema de funcionamiento actual	15
1.3.2.	Esquema actual del aplicador de gas	16
1.3.3.	Características y deficiencias del sistema	17
1.3.4.	Formas de los envases	18
1.3.5.	Cálculo de eficiencias de aplicación	21
1.4.	Análisis del escenario actual del funcionamiento actual	22
1.4.1.	Datos y registros de observaciones	23
1.4.2.	Cálculo de eficiencia del uso actual	25
1.5.	Detección de mejora del proceso	27
1.6.	Análisis económico del funcionamiento actual	28
2	PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE APLICACIÓN DE GAS	29
2.1.	Esquema del sistema propuesto	29
2.1.1.	Aplicación automática	29
2.1.2.	Cambio automático de cilindros de gas	31
2.1.3.	Sistema de rechazo de envases	33
2.1.4.	Sistema de alarmas y monitoreo	34
2.1.5.	Interconexión con el sistema principal	35
2.2.	Selección de dispositivos	36
2.2.1.	Unidad de control	36
2.2.2.	Sistema de aplicación automática	37
2.2.3.	Sistema de cambio automático de cilindros de gas	38
2.2.4.	Sistema de monitoreo y alarmas	39

2.2.5.	Sistema de rechazo de envases	39
2.2.6.	Interconexión con el sistema principal	40
2.3.	Descripción de funcionamiento	40
2.3.1.	Unidad de control	40
2.3.2.	Detección de envases y aplicación automática	40
2.3.3.	Cambio automático de cilindros de gas	42
2.3.4.	Control del sistema	44
2.3.5.	Sistema de rechazo de envases	45
2.3.6.	Sistema de monitoreo y alarmas	46
2.4.	Comparación de costos de ambos sistemas	46
2.5.	Comparación económica y operativa del proceso	47
3	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA AUTOMATIZADO	49
3.1.	Definiciones técnicas y terminología	49
3.1.1.	Interruptores de presión	49
3.1.1.1.	Teoría de operación	52
3.1.1.2.	Terminología	53
3.1.1.3.	Aplicaciones de control	56
3.1.1.4.	Características y parámetros	57
3.1.1.5.	Parámetros para la selección de controles de presión	57
3.1.2.	Sensores foto eléctricos	58
3.1.2.1.	Teoría de operación	60
3.1.2.2.	Clasificación de sensores fotoeléctricos	62
3.1.2.3.	Terminología	67
3.1.2.4.	Consideraciones para la selección	68

	de sensores foto eléctricos	
	3.1.2.5. Características y parámetros	68
3.1.3.	Medidores de flujo (rotarómetros)	69
3.1.4.	Control lógico programable	69
	3.1.4.1. Definición	69
	3.1.4.2. Teoría de operación	72
	3.1.4.3. Esquema de un PLC	73
	3.1.4.4. Tipos de Memoria del PLC	74
	3.1.4.5. Entradas y salidas	75
	3.1.4.6. Lenguaje de control	77
	3.1.4.7. Programación en escalera	78
3.2.	Diagrama y descripción de funcionamiento	80
	3.2.1. Aplicación automática de gas	80
	3.2.1.1. Consideraciones	80
	3.2.1.2. Sistema de aplicación automática	84
	3.2.2. Cambio Automático de cilindros de gas	87
	3.2.3. Alarma de flujo	89
	3.2.3.1. Consideraciones	89
	3.2.3.2. Sistema de alarma de flujo	90
	3.2.4. Alarma de detección de envases	93
	3.2.4.1. Consideraciones	93
	3.2.5. Alarma de ausencia de gases	95
	3.2.6. Sistema de rechazo de envases	97
3.3.	Especificaciones de dispositivos	98
	3.3.1. Aspectos generales	98
3.4.	Especificaciones del sistema	100
3.5.	Montaje del sistema	101
3.6.	Cronograma de implementación del sistema	103

4	COSTOS Y ANÁLISIS ECONÓMICO	105
4.1.	Costos del sistema automatizado	105
4.2.	Costos de operación	106
4.3.	Costo actual del consumo del gas versus consumo esperado con el nuevo sistema	106
4.4.	Análisis económico de la recuperación de la inversión	107
5	RESULTADOS ESTIMADOS	109
5.1.	Medición de horas de uso y volumen de gas utilizado	109
5.2.	Aplicación de gas por envase	111
	CONCLUSIONES	111
	RECOMENDACIONES	113
	BIBLIOGRAFÍA	115
	ANEXOS	117

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

- 1 Composición básica del vidrio
- 2 Proceso de fabricación del vidrio
- 3 Vidrio fundido en el interior de un horno
- 4 Envases recién formados
- 5 Gota de vidrio con la preforma del envase
- 6 Secuencia de proceso Soplo Soplo
- 7 Secuencia de proceso Prensa Soplo
- 8 Envases con la forma final
- 9 Variación de temperatura en proceso a) de formado b) de templado
- 10 Envases enviados a la línea de empaque
- 11 Esquema de proceso de aplicación de tratamientos
- 12 Ubicación general del sistema actual de aplicación de tratamiento
- 13 Esquema actual del aplicador de gas
- 14 Envases con formas regulares
- 15 Envases con formas irregulares
- 16 Cálculo de eficiencia de envases con formas regulares
- 17 Cálculo de eficiencia de envases con formas irregulares
- 18 Esquema de aplicación automática
- 19 Área de aplicación de gas
- 20 Esquema de cambio automático de cilindros de gas
- 21 Esquema de sistema de rechazo de envases

22	Esquema de sistemas de alarmas y monitoreo
23	Esquema interconexión con el sistema principal
24	Esquema de sensor óptico
25	Diagrama de flujo de programa de control del PLC
26	Estructura mecánica básica de un interruptor de presión
27	Interruptor de presión
28	Aplicación típica de control de presión
29	Aplicación de monitoreo de presión
30	Exactitud versus vida útil de sensor de presión
31	Configuración de contactos
32	Esquema de un circuito foto detector
33	Rotarometro de vinil
34	Diagrama de bloques de un PLC
35	Esquema completo de un PLC
36	Representación gráfica del recorrido de los envases
37	Representación de los espacios entre el detector y el aplicador del tratamiento.
38	Representación de tiempos
39	Diagrama tiempos de aplicación
40	Diagrama de tiempos, aplicación automática
41	Diagrama en escalera de aplicación automática
42	Diagrama de electro válvula
43	Diagrama en escalera, cambio automático de cilindros
44	Esquema de sistema de alarma de flujo
45	Diagrama de tiempos sistema de alarma de flujo
46	Diagrama en escalera, sistema de alarma de flujo
47	Diagrama de tiempos de alarma de detección de envases
48	Diagrama en escalera de alarma de detección de envases
49	Diagrama en escalera de alarma de ausencia de gases

50	Diagrama en escalera del sistema de rechazo de envases
51	Ubicación física del sistema de aplicación de gas
52	Vista de planta del sistema de aplicación automática de gas
53	Esquema general del sistema

TABLAS

I	Minerales utilizados como colorantes en la fabricación del vidrio
II	Descripción de datos y variables
III	Registro de datos
IV	Cálculo de la eficiencia
V	Tabla de resultados
VI	Información sobre cilindros de gas Ball It
VII	Costo del proceso actual
VIII	Costos y eficiencia de cilindros de gas a) por cilindro b) por consumo anual
IX	Proyección de costos del sistema propuesto a) por cilindro b) anual
X	Instrucciones básicas de programación en escalera
XI	Diámetros y velocidades con características extremas
XII	Espacio recorrido por envases de características extremas
XIII	Resultados de envases con características extremas
XIV	Variables de aplicación automática
XV	Tabla de verdad del sistema de cambio de automático de cilindros de gas

XXVI	Variables de cambio automático de cilindro de gas
XXVII	Variables del sistema de alarma de flujo
XXVIII	Variables del sistema de alarma de detección de envases
XIX	Tabla de verdad de sistema de alarma de ausencia de gases
XX	Variables del sistema alarma de ausencia de gases
XXI	Simbología del sistema general
XXII	Cronograma de implementación del sistema
XXIII	Costo del sistema automatizado
XXIV	Costos de operación
XXV	Comparación de costos a) sistema actual b) sistema propuesto
XXVI	Inflación proyectada de Guatemala
XXVII	Análisis económico
XXVIII	Número de cilindros esperado con sistema propuesto
XXIX	Diagrama de variables

GLOSARIO

CD	Corriente directa.
CA	Corriente alterna.
V	Voltaje
I	Corriente
UPS	<i>Uninterruptible power supply.</i> Fuente de potencia ininterrumpible
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronic Engineers.</i> Instituto de Ingenieros Electricistas y Electrónicos.
ANSI	<i>American National Standard Institute.</i> Instituto Nacional Americano de Estándares.
UL	<i>Underwriters Laboratorios</i>
NEMA	<i>National Electrical Manufacturers Association:</i> Asociación Nacional de Manufactureros Eléctricos, provee estándares para controles y sistemas industriales.
NEC	<i>National Electric Code.</i> Código Eléctrico Nacional

OBJETIVOS

- **General**

Optimizar la aplicación de tratamiento ball it, reducir el costo de dicho proceso, y la reducción de la contaminación generada la incorrecta aplicación del tratamiento.

- **Específicos**

1. Automatizar el proceso de tratamiento ball it, utilizando dispositivos fotoeléctricos
2. Elaborar un análisis económico para evaluar la factibilidad del proyecto y la recuperación de la inversión.
3. Cuantificar el ahorro que se puede lograr con la implementación de dicho sistema eléctrico.
4. Diseñar el sistema teniendo presente los siguientes factores: costo, continuidad de uso, exactitud y confiabilidad.

RESUMEN

El principal objetivo en todo proceso industrial es alcanzar el balance entre la eficiencia y un costo aceptable en sus procesos de producción, permitiendo ser más competitivo en sus mercados, reduciendo al máximo el costo de sus materias primas e insumos, especialmente por el incremento de los energéticos, y el efecto dominó que estos crean en el incremento de otros productos y servicios relacionados, donde el incremento de estos afecta considerablemente el precio del producto final. El objeto de este trabajo es reducir el costo de la aplicación de gas, implementando un sistema de control de lazo abierto.

El sistema no controla ninguna variable física ó variable en el tiempo, la foto detección es el mecanismo de interrupción para abrir ó cerrar una electro válvula permitiendo el flujo de gas al interior de los envases.

La representación matemática de sistemas de control es requerida cuando los sistemas son de lazo cerrado, cuando se requieren relaciones cuantitativas y la representación del comportamiento del mismo. Estos modelos matemáticos se basan en principios de ciencias físicas, biológicas, sociales o ciencias de la información. Por lo que no es aplicable el análisis matemático de sistemas de control. La representación del sistema se realiza como un diagrama de variables (ver anexo I). Los cálculos realizados son para determinar velocidades, distancias, tiempos, eficiencias y los índices económicos, para determinar la factibilidad del proyecto.

Utilizando un control lógico programable y sensores ópticos se controla una electro válvula que aplica el gas, el área de aplicación debe ser

únicamente en la parte interna del envase, para evitar desperdicio en el consumo de gas y problemas de calidad en la superficie externa de los envases. Las mayores limitantes son la alta temperatura del ambiente de producción y la transparencia del vidrio.

Se utilizan sensores no reflectivos para la detección, con fibra óptica, por ser muy resistente e inmune a altas temperaturas de operación, permitiendo aislar los dispositivos eléctricos y electrónicos a una temperatura de operación tolerable. Además se implementa un sistema de monitoreo y alarmas, en caso de presentarse condiciones anormales y críticas los envases serán retirados de la línea de producción para evitar los problemas calidad interna (alcalinidad) y externa por la apariencia.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad los costos de materias primas e insumos industriales se han elevado significativamente, obligando a todos los sectores productivos a realizar una evaluación de reducción de costos en cada uno de sus procesos. En este trabajo la evaluación se hace en una fábrica de envases de vidrio que opera en Guatemala, desde hace 40 años. El proceso de la producción de envases de vidrio es más complejo de lo que parece, debido a las altas temperaturas que exige la fundición y formado del vidrio, haciendo más complicado, pero a la vez, más necesaria la operación de dispositivos mecánicos, eléctricos y electrónicos, que conjuntamente forman el sistema de control para la producción de envases de vidrio.

El proceso de producción de envases de vidrio inicia con la mezcla de las materias primas y luego la fundición de las mismas, en un horno de combustión a una temperatura de más de 1,500 grados centígrados, posteriormente el vidrio fundido es distribuido a las máquinas que forman los envases, cada máquina puede hacer diferentes tipos de envases (botellas, tarros, y vasos) dependiendo del tipo de proceso y el molde que se utilice. Para cada tipo de envase se hace una preforma y hay dos procesos uno es S.S. (soplo soplo) usando la inyección de aire para formar el envase, P. S. (prensa soplo) mediante el uso de pistones.

Al momento de estar el envase formado y dependiendo del uso del envase, este necesita que se apliquen algunos tratamientos, tales como el estearato, duradote, bióxido de azufre y ap5, el Ball Itt o difluoretano, este último se usa para aumentar la durabilidad química del envase y mantener la

alcanilidad (ph), y evitar la proliferación de cuerpos contaminantes en el producto a envasar.

El propósito de este trabajo es hacer un análisis y realizar un estudio para hacer más eficiente la aplicación de este tratamiento a los envases de vidrio, haciendo uso de dispositivos fotoeléctricos, con el objeto de automatizar y optimizar significativamente dicho proceso, tanto desde el punto operativo como económico.

1. PROCESO DE FABRICACIÓN DEL VIDRIO

1.1 Definición y conceptos

La fabricación de envases de vidrio es más compleja de lo que parece, a simple vista pareciera necesario solo fundir soplar y formar, pero es un proceso industrial muy complejo en el que intervienen equipos mecánicos, eléctricos y electrónicos, que trabajan en total sincronía para el aprovechamiento al máximo de la energía eléctrica, hidráulica, mecánica, y térmica, para obtener el mayor beneficio en la producción, además debe tenerse en cuenta todos los requisitos legales con los que se deben cumplir debido a que la mayoría de los productos de vidrio tienen contacto humano. El presente apartado muestra en términos generales y sin profundizar, la información básica relacionada a la producción de envases de vidrio.

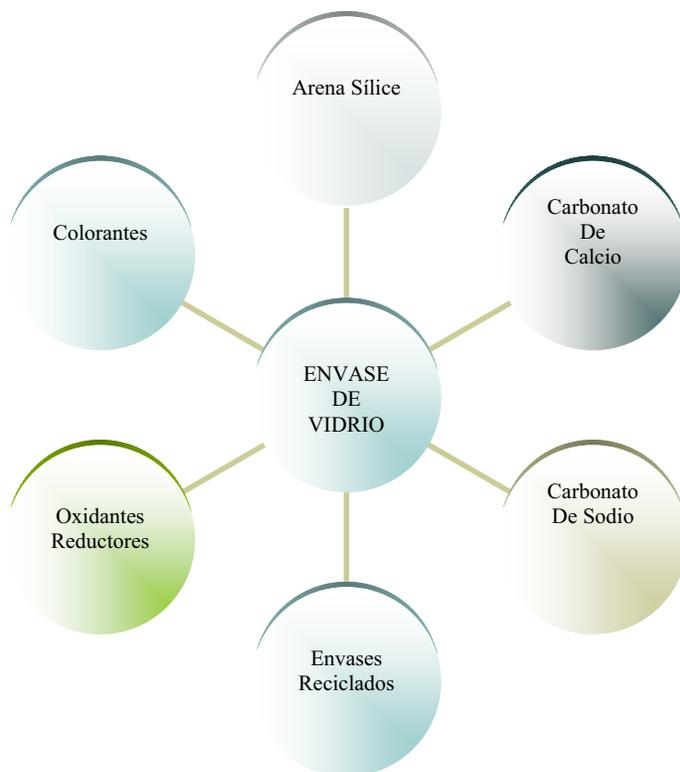
1.1.1 Origen y evolución del vidrio

Fue descubierto por los egipcios, 2,500 años antes de nuestra era, se atribuye a los fenicios la invención de su fabricación, parece que los fenicios lo conocieron de los egipcios y babilonios. Hasta el siglo XIX (1,800's), se logra mejoras en su fabricación.

1.1.2 Origen y evolución del vidrio

El vidrio no es un cristal, el vidrio es un fluido con una muy alta viscosidad, compuesto por una mezcla de óxidos metálicos, el vidrio es un material duro, frágil y transparente, que a pesar de comportarse como sólido, es un líquido sobre enfriado y amorfo (sin estructura cristalina).

Figura 1. Composición básica del vidrio



Estos compuestos son colocados en un horno y fundidos a 1500°c, el color natural del vidrio es un tono verdoso, se le aplican decolorantes para hacerlo cristalino y se le agregan minerales colorantes para el vidrio de color

Tabla I Minerales utilizados como colorantes en la fabricación del vidrio

Mineral	Color
Cobalto	Azul
Cromita	Verde
Azufre	Ámbar
Hematina	Ámbar
Selenio	Rojo

1.1.3 Tipos de vidrios para envases y su aplicación

Tipo I – boro silicato

Contiene boro, lo cual lo convierte en vidrio neutro productos de laboratorio, inyectables, ampollitas.

Tipo II – calizo tratado

Superficie totalmente libre de alcalinidad, para bebibles e inyectables.

Tipo III – calizo

El más ampliamente usado farmacéuticos, cosméticos, perfumería, alimentos, licores.

Tipo IV – no parenteral

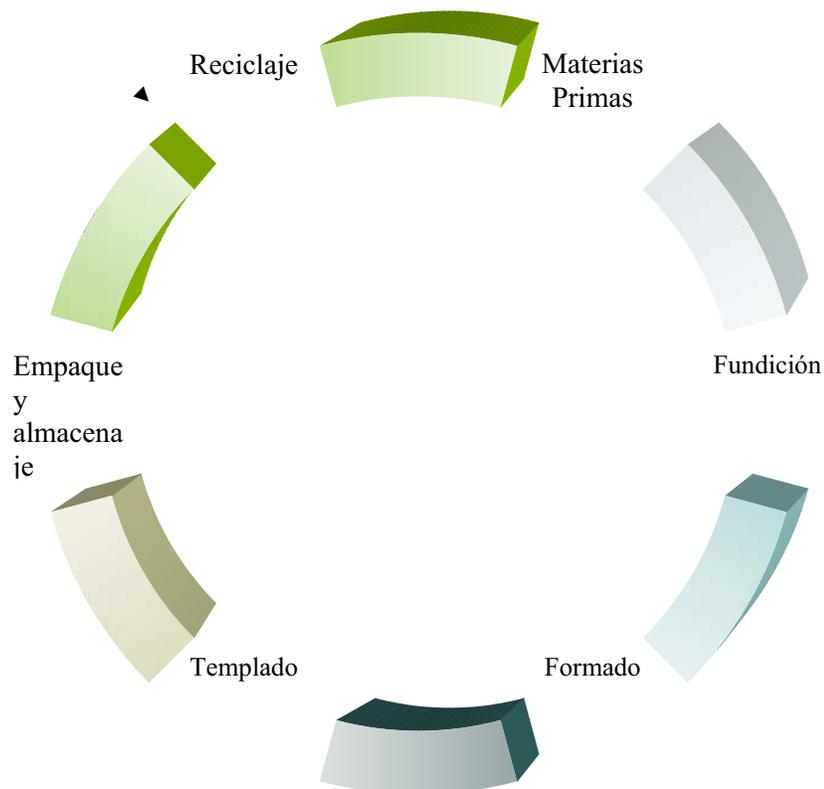
Exclusivo para productos inyectables

1.1.4 Ciclo de producción de los envases de vidrio

Las principales materias primas, se funden a temperaturas superiores a 1.500 °C en los hornos de fusión. Posteriormente, estas materias primas se afinan y homogenizan hasta obtener una masa vítrea que servirá para la elaboración del envase. El vidrio obtenido, aún en estado fluido y a una temperatura de unos 900°C, se distribuye en los moldes que darán forma a los

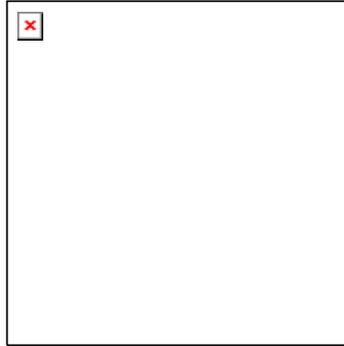
envases. A continuación, estos moldes se trasladan a un túnel templador, donde un tratamiento térmico eliminará tensiones internas y dotará al envase de vidrio su grado definitivo de resistencia. Seguidamente, inician los controles de calidad, donde se comprueba cada unidad electrónicamente, verificando su correcta fabricación, su configuración interior y exterior y asegurando que sus características se adecuen a los requerimientos de los envasadores y los consumidores, estos controles se hacen durante la línea de producción y también se hacen inspecciones a lotes de envases en los laboratorios de control de calidad. El proceso concluye con el empaque de los envases de vidrio, y luego a las bodegas ó directamente a lo clientes embotelladores.

Figura 2. Proceso de fabricación del vidrio



1.1.4.1 Fundición

Figura 3. Vidrio fundido en el interior del horno



Fuente: Asociación de fabricantes de envases de vidrio españoles
www.anfevi.com

A medida que la arena sílice y la soda son recibidas, se muelen y almacenan en depósitos en altura, en espera del momento en que serán transferidas a través de un sistema de alimentación por gravedad a los mezcladores. En los mezcladores las materias primas son dosificadas y combinadas con vidrio reciclado para formar una mezcla homogénea, la cual es trasladada por medio de cintas transportadoras a un sistema de almacenamiento de cargas (batch) donde es contenida antes de ser depositada en el alimentador del horno de fundición.

Al entrar la carga al horno a través de los alimentadores, ésta flota en la superficie de la masa de vidrio fundida. Una vez que se funde, pasa al frente del baño y eventualmente fluye a través de la garganta de carga al refinador, donde es acondicionada térmicamente para descargar al proceso de formado.

Acerca del Horno.

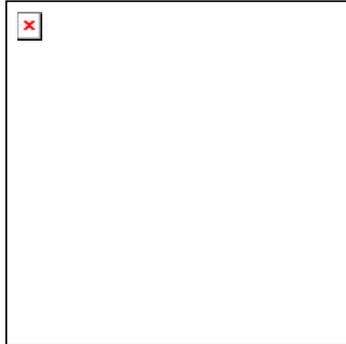
Es necesario un flujo continuo de vidrio para la alimentación de máquinas automáticas de formado, por su mayor eficiencia en el uso del combustible es empleado principalmente para la producción en gran escala. Un horno de tanque consiste de una tina (con una capacidad de hasta 200 toneladas, construida de un material refractario) y de una estructura donde tiene lugar la combustión.

Para alcanzar altas temperaturas de fusión con economía de combustible, son usados sistemas regenerativos y recuperativos, los cuales utilizan los gases de escape para calentar el aire de combustión que ingresa.

Mientras que en el sistema recuperativo el intercambio de calor entre el aire y los gases de escape es continuo, en el sistema regenerativo los gases de escape son pasados a través de una gran cámara con bloques de refractarios dispuestos de forma tal que permitan el libre flujo de los gases, siendo la obra de ladrillos calentada por éstos. Después de aproximadamente 20 minutos, la dirección de los gases es invertida, pasando entonces el aire de combustión por la masa de ladrillos calientes; aprovechándose de ésta forma el calor recolectado anteriormente para precalentar el aire de combustión.

1.1.4.2 Formado del vidrio

Figura 4. Envases recién formados



Fuente: Asociación de fabricantes de envases de vidrio españoles
www.anfevi.com

El proceso inicia con la vela o trozo de vidrio

Figura 5. Gota de vidrio con la preforma del envase

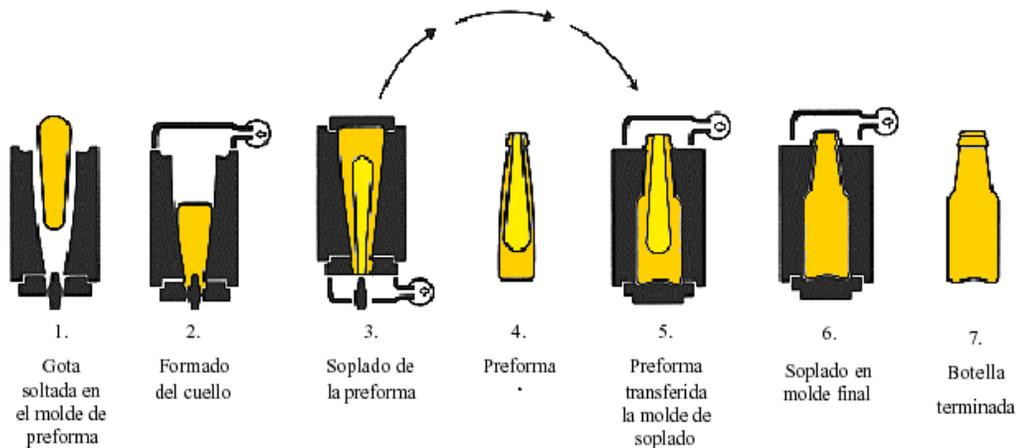


Fuente: Asociación de fabricantes de envases de vidrio españoles
www.anfevi.com

1.1.4.3 Proceso Soplado

La vela (trozo de vidrio) caen en el horno y se acomoda en el interior, creando la corona del envase, se sopla por primera vez par formar el pre-molde se invierte la botella quedando con la corona hacia arriba, en esta posición se le aplica el segundo soplado, dando la forma final al envase, después sigue al área de templado.

Figura 6. Secuencia de proceso soplado

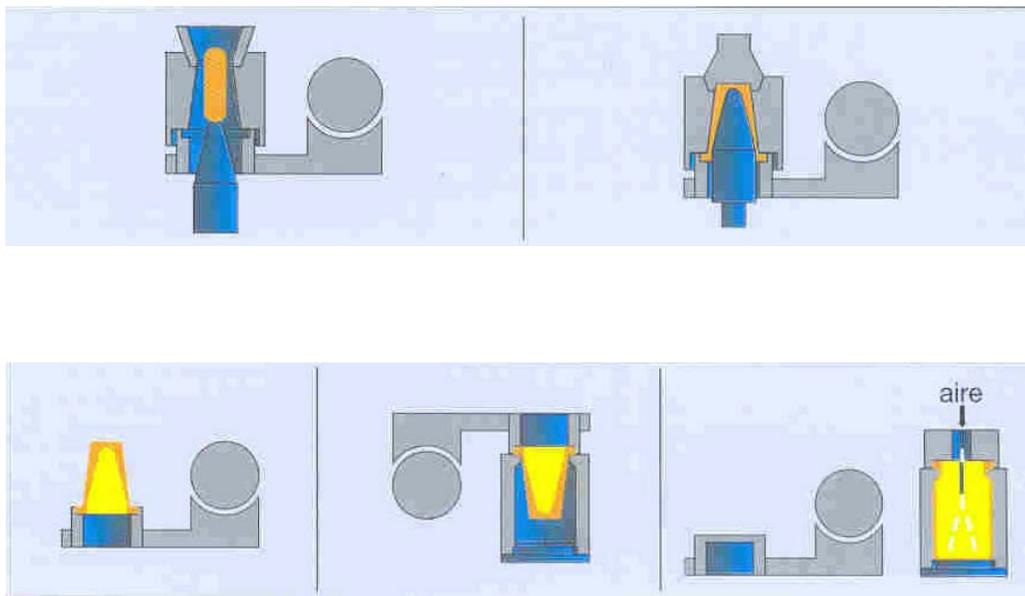


Fuente: Revista mensual Vitro Ideas, # 28, año 2003

1.1.4.4 Proceso Prensa soplado

Este proceso es muy similar al anterior con la diferencia de que en lugar del primer soplado se aplica un pistón para crear la preforma del envase, luego se invierte y se aplica el soplado que dará el la forma final al envase, este proceso utilizado para envases con boca ancha, como tarros de café y mayonesa.

Figura 7. Secuencia de proceso prensa sopro



Fuente: Revista mensual Vitro Ideas, # 28, año 2003

El proceso termina con el envase formado, el tiempo de producción puede ser de 39 segundos.

Figura 8. Envases con la forma final

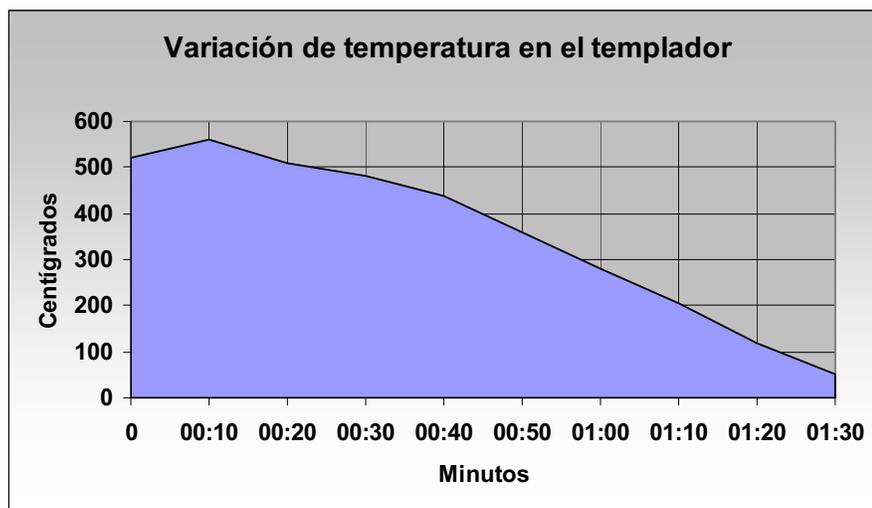
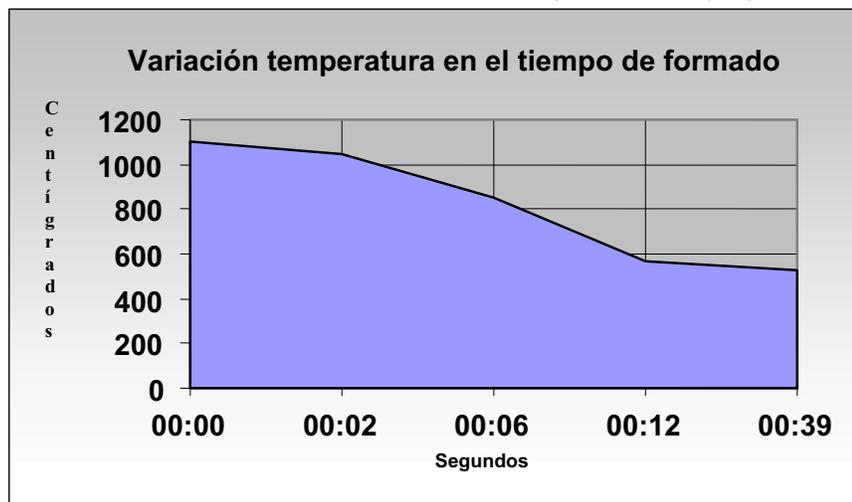


Fuente: Asociación de fabricantes de envases de vidrio españoles
www.anfevi.com

1.1.4.5 Templado

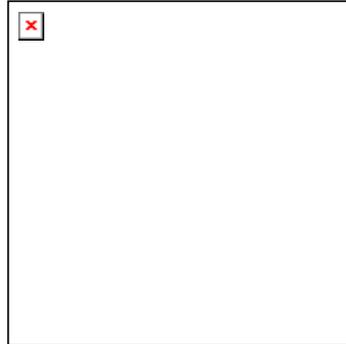
El objetivo de este proceso es eliminar esfuerzos internos, para que el envase soporte cambios de temperatura. En el templado se adquiere la resistencia mecánica requerida para el manejo en las líneas de llenado de los clientes.

Figura 9. Variación de la temperatura en a) formado y b) templado



1.1.4.6 Empaque y almacenaje

Figura 10. Envases enviados a la línea de empaque



Fuente: Asociación de fabricantes de envases de vidrio españoles
www.anfevi.com

Una vez terminado el proceso de producción de envases se coloca en el empaque requerido por el cliente, los materiales de empaque pueden ser cartón, plástico y madera, son empacados de tal manera que aseguren la integridad del envase al momento de ser transportados por vía marítima, terrestre ó área. El almacenaje debe ser en lugares libres de humedad y contaminación (humo, polvo, agua), debido a que estos alteran la apariencia y la alcalinidad de los envases.

1.1.5 Ciclo de reciclaje

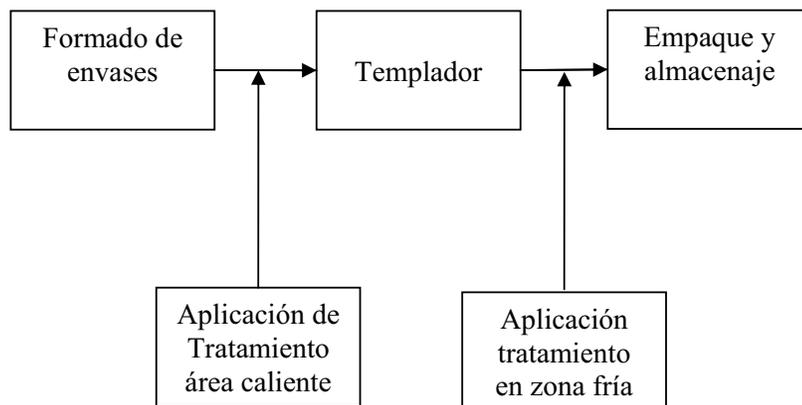
Los envases se almacenan y se distribuyen a los embotelladores, estos llenan sus productos en envases de vidrio, y luego de que el consumidor final utiliza su contenido estas botellas son recicladas y se utiliza el 100% de su material para crear una botella nueva.

El proceso de reciclaje inicia con los envases utilizados, estos son recolectados y enviados a las plantas productoras. Estos envases se seleccionan por color, después se les hace una inspección en las que se les quitan residuos grandes como metal, piedra, concreto ú otros materiales visibles que pueden alterar la mezcla de vidrio.

Una vez inspeccionado el material se envía a la molienda, dejando el material listo para ser parte de la mezcla de producción de envases.

1.2 Identificación del sistema a automatizar

Figura 11. Esquema de proceso de aplicación de tratamientos



El envase recién formado sale por una banda metálica que conduce el envase a la zona del templador, en el punto intermedio, se localiza el aplicador del tratamiento interno, Ball It.

El aplicador de tratamiento consiste en un cilindro de gas ball it, y una fuente de aire a presión, se mezclan ambos gases, y por medio de los reguladores se controla al flujo del gas que se aplica en la parte interna de los envases.

Las velocidades de fabricación pueden variar según la capacidad y forma del envase, tipo de proceso de fabricación, esta puede oscilar de 300,000 (30 ml) a 20,000 (1,750 ml) por día.

Para velocidades de fabricaciones menores 115,000 envases por día (80 envases por minuto) si es apropiado un sistema de aplicación controlado, para velocidades mayores no lo es, por la alta frecuencia de cierre y apertura de la válvula de control.

Además del templado es necesario aplicar tratamientos externos para mejorar la calidad del vidrio, y cambiar las características del envase de acuerdo al uso para el que esta destinado.

1.2.1 Tratamientos que deben aplicarse a los envases de vidrio

A los envases debe aplicarse tratamientos internos, externos ó ambos, para asegurar la calidad del envase, apariencia y durabilidad, también para evitar las reacciones químicas y contaminación del producto a envasar.

1. Interno, en caliente (después de formado el envase)
 - **Gas aplicado (freon, ball-it)**, reduce alcalinidad del envase

2. Externo (después del templado):
 - **Sustancia (duracote - estereato)**, mejora la resistencia mecánica y la apariencia.

De estos dos tratamientos, el primero es el objeto de estudio.

1.2.2 Tratamiento Ball It

Es un tratamiento Interno aplicado en caliente inmediatamente después de fabricado el envase, se aplica en forma gaseosa. Una vez que reacciona con la superficie interna el envase obtiene mayor durabilidad química.

Se le llama Ball It porque anteriormente la fábrica que lo producía se llamaba “Ball” ahora se llama SOMECA e It del inglés “internal treatment.”

Características:

Nombre Comercial: Ball It ó Freón 152A

Nombre Real del Compuesto: Difluoretano

Inoloro e Incoloro

Apariencia del Envase: No de alguna coloración en especial

1.2.3 Teoría de la durabilidad química

Algunos productos como licores o productos farmacéuticos pueden atacar la superficie del envase el cual es base soda calizo, dando una apariencia opaca. Otras veces el solo hecho de dejar el envase a la intemperie, propicia el fenómeno de “Bloom” el cual se debe al ataque del agua a la superficie del vidrio. Esto sucede con mayor frecuencia en ambientes muy húmedos o cuando hay cambios significativos de temperatura entre el día y la noche.

Para evitar lo anterior hay 2 opciones:

a) Cambiar la composición del Vidrio: Esto incrementa los costos de producción por ser más lenta la fabricación de los envases (opción menos aconsejable).

b) Tratar la superficie: No requiere cambios en la composición sólo requiere aplicar el gas (difluoretano) en la superficie interna inmediatamente después del formado del envase (la mejor opción)

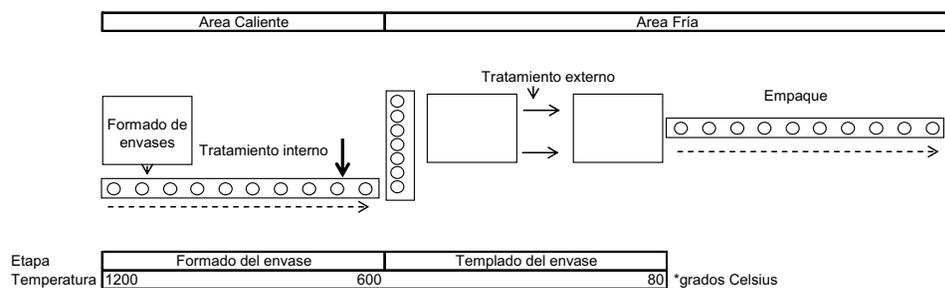
NOTA: según boletín distribuido por SOMEK la FDA no tiene objeción alguna en el uso del tratamiento.

1.3 Condiciones actuales de funcionamiento

El tratamiento se aplica de una forma mecánica no controlada, por lo que el flujo de gas, es constante, aplicando gas en los espacios que hay entre cada envase, por lo que la duración del tratamiento se ve reducida notablemente, especialmente con los envases de menor velocidad de producción, aumentando el consumo de gas, y creando pérdidas económicas por la aplicación poco eficiente del tratamiento.

1.3.1 Esquema de funcionamiento actual

Figura 12. Ubicación general del sistema de aplicación de tratamiento



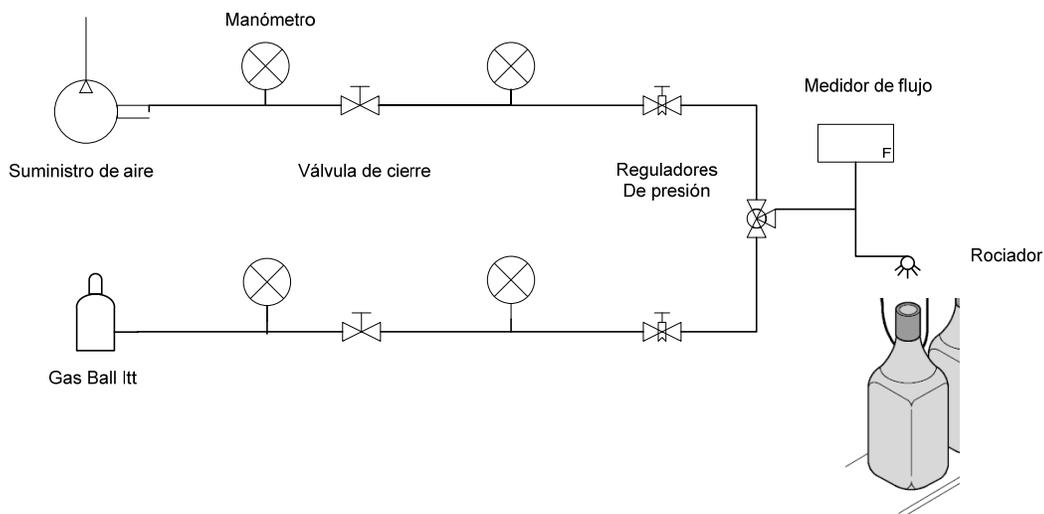
El área caliente es la parte donde se forma el envase desde la fundición de la materia prima hasta el formado del envase, cuando el envase se

transporta al templador aún se pueden ver los envases con un color rojizo que indica una alta temperatura del compuesto vítreo, este es el punto ideal para la aplicación de los tratamientos internos, además en este punto hay un contador de envases, de igual forma al final de la línea, se cuenta cuantos envases han sido empacados, con estos datos se calcula eficiencia de producción de dicha cada línea de producción.

El área fría inicia con la entrada al templador, en donde la temperatura es menor de 600 grados centígrados, a lo largo del templador se encuentran 2 puntos de aplicación de tratamientos externos.

1.3.2 Esquema actual del aplicador de gas

Figura 13. Esquema actual del aplicador de gas



El sistema cuenta con reguladores de presión, un monitor visual, dicho medidor consta de medidor de flujo, es un sistema muy simple y necesita

supervisión continua ya que no tiene ningún elemento de aviso, si alguno de los gases llegara a faltar.

1.3.3 Características y deficiencias

Características

- ✓ Detección de flujo, con monitor óptico
- ✓ Cilindro de gas de backup con cambio manual
- ✓ No necesita energía eléctrica
- ✓ Totalmente manual
- ✓ Duración de gas hasta 125 horas

Deficiencias

- La aplicación de gas no es controlada, porque aplica en la parte externa el envase y espacios libres entre los envases, esto genera pérdidas de gas, y defectos físicos en la superficie externa de los envases.
- Necesita supervisión en cada cambio de molde de fabricación o si se presenta un problema en la línea de producción, si no hay envases produciéndose, el tratamiento se sigue aplicando hasta que sea cerrado manualmente.
- Se corre el riesgo de que aun con un cilindro de respaldo, el sistema se quede sin cilindros gas, esto debido la dependencia 100% del operador.
- En ausencia de cualquiera de los dos gases, el sistema sigue funcionando, bajo esta condición el envase es considerado como defectuoso, y no hay forma de detectarlo en el recorrido de los puntos de control, por lo que creara

posteriormente problemas de calidad con el producto final envasado.

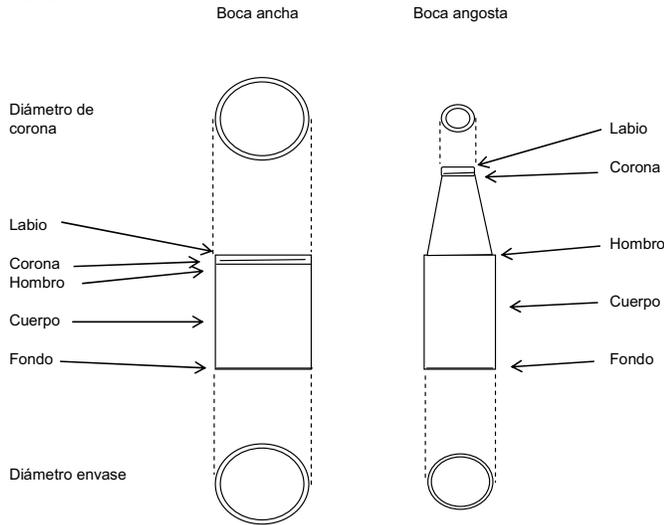
- El costo de las pérdidas según cálculo realizado es el 78% del cilindro de gas.
- Eficiencia de aplicación demasiado baja.

1.3.4 Formas de los envases

Para visualizar la eficiencia de aplicación, es necesario conocer su forma, los envases de vidrio pueden tener diferentes formas y tamaños, cilíndricos, rectangulares y formas irregulares.

Figura 14. Envases con formas regulares

CILÍNDRICOS



RECTANGULARES

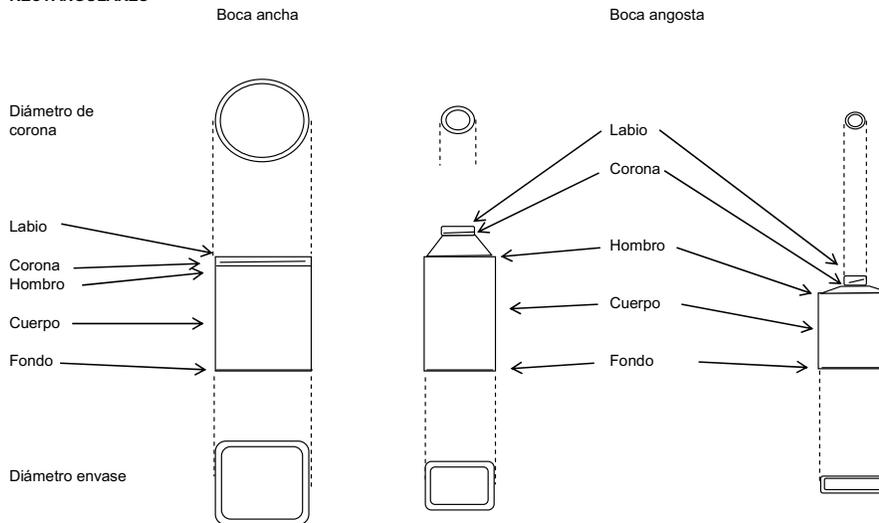
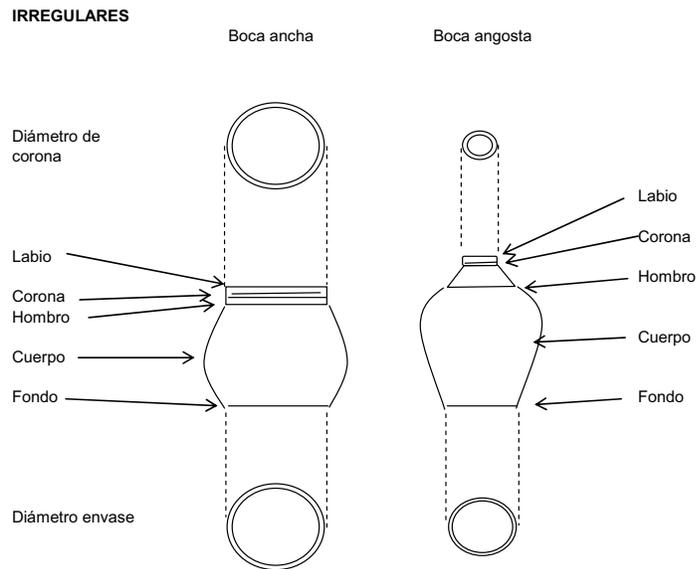


Figura 15. Envases con formas irregulares



En el punto de aplicación del tratamiento su temperatura puede oscilar de 500 a 600 grados centígrados, este es el punto ideal para la aplicación del tratamiento, la eficiencia de su aplicación se debe el ajuste de presión para que la evaporación del gas dentro del recipiente obtenga una distribución uniforme en la superficie interna.

La cantidad de flujo a aplicarse a cada envase no necesariamente depende de su capacidad, si no de su forma, la aplicación es más eficiente en envases de boca angosta, debido a que por tener una boca pequeña, no permite que el tratamiento se escape al ambiente exterior, mientras que los envases de boca ancha el gas se escapa más rápidamente siendo necesario aumentar el flujo.

1.3.5 Cálculos de la eficiencia de aplicación

Figura 16. Cálculo de eficiencia de envases con formas regulares

Eficiencia de la aplicación de los diferentes tipos de envases

ENVASES REGULARES

Dc Diámetro Corona
De Diámetro mayor envase
h Altura envase
Sl Distancia entre envases
Rd Relación de diámetros
Df Diámetro del fondo
Db Diámetro cuerpo

$Sl = De$
 $Rd = Dc / De$
 $De = Df$
 $Df = Dc$

Características

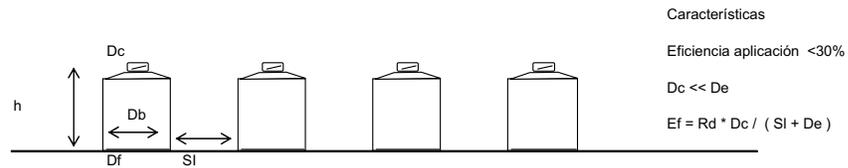
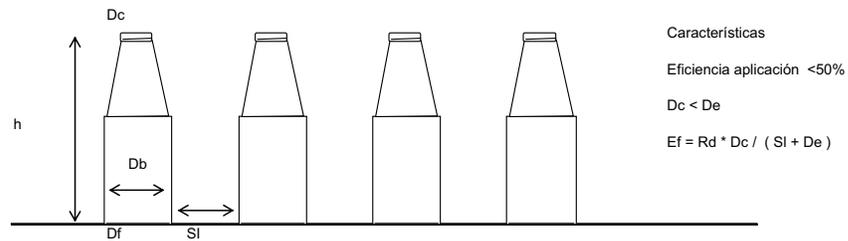
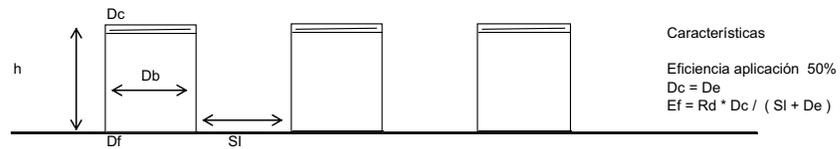


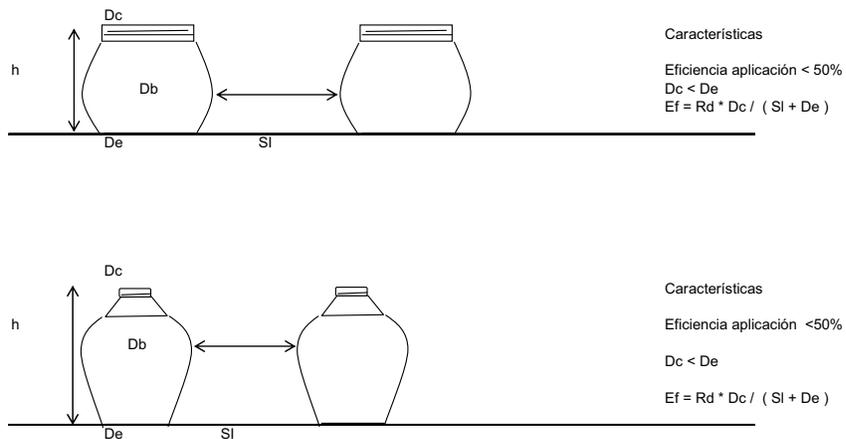
Figura 17. Cálculo de eficiencia de envases con formas irregulares

ENVASES IRREGULARES

Dc Diámetro Corona
De Diámetro mayor envase
h Altura envase
SI Distancia entre envases
Rd Relación de diámetros
Df Diámetro del fondo
Db Diámetro cuerpo

$SI = De$
 $RD = Dc / De$
 $De = Db$
 $Df = Dc$

Características



1.4 Análisis del escenario actual de dicho proceso de aplicación de gas

Los datos obtenidos resultan de la observación periódica, en la cual se define el comportamiento de diferentes tipos de envases a los que les fue aplicado dicho tratamiento en una línea de producción, durante un período de 8 meses.

1.4.1 Datos, registros de observaciones

Tabla II. Descripción de datos y variables

Descripción de datos	Símbolo	Dimensiones
Tiempo de duración del cilindro máx.	Tc	Horas
Diámetro base del envase mm	Db	mm
Diámetro de la corona del envase mm	De	mm
Cantidad envases producidos	Ce	
Costo Cilindro de gas	Cc	\$
Capacidad envase	Cap	
tiempo de producción	Tp	Horas
Pieza por día	Ced	
Factor de uso, según capacidad	Fu	

Descripción de Variables	Símbolo	unidad
Velocidad de producción	Vp	envases/min
% utilización del cilindro	Uc%	
Tiempo de uso factorizado, según volumen	Tcf	Horas
Cantidad envases por cilindro	Cec	
Distancia recorrida por envase / minuto	Se	mm
Distancia recorrida por cada corona / minuto	Sc	mm
Distancia recorrida por espacios entre envases / minuto	Sl	mm
Distancia recorrida por banda transportadora / minuto	St	mm
% Eficiencia de aplicación	% ef	
% pérdidas	% per	
Costo de aplicación eficiente	\$ ef	\$
Costo de pérdidas por aplicación	\$ per	\$

Tabla III Registro de datos

Moldura	FECHA	Cap (ml)	Fu	Tcf	Db (ml)	Dc (ml)	H (ml)	W (gr)	Tp (hr)	Ce	Ced	Vp (env/min)
X0034	08/07/06	259	1	125	90	70	101	258	15	72,768	116428	81
X0035	07/07/06	261	1	125	90	70	101	264	19	84,336	106529	74
X1742	13/05/06	387	1	125	62	30	223	267	70	135,168	46343	32
X1094	27/06/06	389	1	125	65	30	219	294	75	233,616	74757	52
X1886	25/04/06	658	0.9	112.5	83	66	160	299	74	301,056	97639	68
X1884	07/07/06	664	0.9	112.5	84	70	164	343	47	132,680	67751	47
X1946	14/04/06	666	0.9	112.5	78	70	189	348	69	232,377	80826	56
X1987	12/03/06	712	0.9	112.5	68	30	283	456	96	287,733	71933	50
X1987	06/06/06	712	0.9	112.5	68	30	283	457	51	154,488	72700	50
X1452	10/03/06	713	0.9	112.5	92	30	22	505	45	124,179	66228	46
X2007	17/03/06	718	0.9	112.5	85	30	262	509	50	117,276	56292	39
X2007	04/06/06	718	0.9	112.5	85	30	262	506	48	138,260	69130	48
X1527	08/03/06	719	0.9	112.5	100	30	187	503	26	43,800	40430	28
X1426	01/04/06	725	0.9	112.5	81	30	267	460	64	219,588	82345	57
X1691	22/04/06	732	0.9	112.5	87	38	234	456	71	219,420	74170	52
X1416	25/02/06	732	0.9	112.5	91	38	229	455	95	293,604	74173	52
X1612	21/03/06	760	0.9	112.5	84	30	232	450	51	116,994	55056	38
X1359	23/03/06	765	0.9	112.5	111	29	221.92	644	46	24,617	12843	9
X1359	29/06/06	765	0.9	112.5	111	29	221.92	656	47	59,225	30242	21
X1316	15/03/06	765	0.9	112.5	89	30	230	471	72	252,468	84156	58
X1559	17/01/06	766	0.9	112.5	77	30	293	461	68	185,760	65562	46
X1229	31/05/06	767	0.9	112.5	77	30	273	519	52	147,813	68221	47
X2006	09/04/06	768	0.9	112.5	85	30	275	539	48	118,698	59349	41
X1336	30/03/06	768	0.9	112.5	75	30	295	479	96	304,747	76186	53
X2006	02/06/06	768	0.9	112.5	85	30	275	541	44	123,480	67352	47
X1598	14/01/06	769	0.9	112.5	77	30	263	672	26	48,192	44484	31
X1706	07/03/06	770	0.9	112.5	125	30	193	534	74	131,172	42542	30
X1046	07/04/06	776	0.9	112.5	87	33	300	858	128	258,612	48489	34
X0877	11/04/06	784	0.9	112.5	75	28	281	483	51	155,296	73080	51
X1034	04/03/06	972	0.9	112.5	101	70	167	401	168	598,122	85446	59
X1060	19/03/06	1000	0.8	100	85	30	262	591	25	60,096	57692	40
X2038	08/03/06	1005	0.8	100	100	30	196	440	24	87,204	87204	61
X1687	14/03/06	1009	0.8	100	101	30	278	585	49	85,752	42000	29
X1942	29/05/06	1011	0.8	100	85	30	304	554	47	127,968	65345	45
X1383	21/01/06	1025	0.8	100	88	30	276	529	67	137,228	49156	34
X1947	07/03/06	1135	0.8	100	94	83	214	562	73	169,299	55659	39
X1947	19/04/06	1135	0.8	100	94	83	214	570	123	344,676	67253	47
X1722	24/06/06	1155	0.8	100	146	30	218	750	69	94,272	32790	23
X0686	12/03/06	1159	0.8	100	94	30	296	606	47	96,275	49161	34
X1951	20/03/06	1769	0.8	100	115	33	302	1074	25	46,680	44812	31
X1664	26/03/06	1782	0.8	100	98	33	305	1009	96	172,680	43170	30
X1950	27/05/06	1782	0.8	100	121	33	295	1041	50	77,520	37209	26
X1950	22/03/06	1782	0.8	100	121	33	295	1044	47	95,250	48638	34
X2001	19/03/06	1790	0.8	100	105	33	319	1047	46	79,784	41626	29
X1038	17/03/06	1809	0.8	100	128	33	300	1144	74	64,134	20800	14
X2022	25/01/06	1819	0.8	100	128	33	306	1141	95	103,916	26252	18
Promedio									2843			

1.4.2 Cálculos de la eficiencia del uso actual

Tabla IV. Cálculo de la eficiencia

Ecuaciones de cálculos	
Envases producidos por minuto	$Vp = Ce / Tp / 60$
Duración del cilindro de gas según el volumen	$Tfc = Tc * Fu$
Capacidad	Factor Fu
0 - 500 ml	1
500 - 1000 ml	0.9
> 1000	0.8
% utilización del cilindro	$Uc\% = Tp / Tcf$
Cantidad de envases por cilindro	$Cec = Tc * Ce / Tp$
Cálculo de las pérdidas de gas por aplicación en zonas innecesarias Superficie externa del envase Claros ó distancia entre envases	
Distancia recorrida por cada envase por minuto tomando el diámetro base	$Sb = Db * Vp$
Distancia recorrida por cada corona de envase por minuto tomando el diámetro de la corona	$Sc = Dc * Vp$
Distancia entre cada envase es igual a la de diámetro del envase La distancia recorrida por estos espacios por minuto es	$Se = Db * (Vp - 1)$
La distancia recorrida total por la banda es	$St = Se + Sb$
% Eficiencia, tomando las distancias recorridas por la banda y por las coronas	$\%ef = Sc / St$
% pérdidas	$\% per = 1 - \%ef$
Costo total	$Ct = Tp / Tc * Cc$
Costo aplicación eficiente	$Cef = Ct * \% ef$
Costo de pérdidas	$Cper = Ct * \% per$

Tabla V. Tabla de resultados

Moldura	Uc%	Cec	Sb (mm)	Sc (mm)	Sl (mm)	St (mm)	% ef	% per	Cef (\$)	Cper (\$)	Ct (\$)
X0034	12%	606,400	7,277	5,660	7187	14,463.6	39%	61%	27.75	43.17	70.92
X0035	15%	554,842	6,658	5,178	6568	13,226.1	39%	61%	35.17	54.66	89.83
X1742	56%	241,371	1,995	965	1933	3,928.6	25%	75%	81.33	249.63	330.96
X1094	60%	389,360	3,374	1,557	3309	6,683.9	23%	77%	82.63	271.97	354.60
X1886	66%	457,686	5,628	4,475	5545	11,172.6	40%	60%	155.71	233.04	388.75
X1884	42%	317,585	3,952	3,293	3868	7,820.3	42%	58%	103.98	142.92	246.91
X1946	61%	378,876	4,378	3,929	4300	8,678.2	45%	55%	164.11	198.37	362.48
X1987	85%	337,187	3,397	1,499	3329	6,725.7	22%	78%	112.37	391.95	504.32
X1987	45%	340,782	3,433	1,515	3365	6,798.1	22%	78%	59.69	208.23	267.92
X1452	40%	310,448	4,231	1,380	4139	8,370.5	16%	84%	38.97	197.43	236.40
X2007	44%	263,871	3,323	1,173	3238	6,560.6	18%	82%	46.95	215.71	262.67
X2007	43%	324,047	4,081	1,440	3996	8,076.2	18%	82%	44.97	207.19	252.16
X1527	23%	189,519	2,808	842	2708	5,515.3	15%	85%	20.86	115.73	136.59
X1426	57%	385,995	4,632	1,716	4551	9,182.8	19%	81%	62.81	273.40	336.21
X1691	63%	347,673	4,481	1,957	4394	8,875.2	22%	78%	82.26	290.73	372.99
X1416	84%	347,689	4,687	1,957	4596	9,283.6	21%	79%	105.22	393.84	499.07
X1612	45%	258,075	3,212	1,147	3128	6,339.2	18%	82%	48.48	219.44	267.92
X1359	41%	60,205	990	259	879	1,869.0	14%	86%	33.44	208.21	241.65
X1359	42%	141,762	2,331	609	2220	4,551.3	13%	87%	33.04	213.87	246.91
X1316	64%	394,481	5,201	1,753	5112	10,313.6	17%	83%	64.30	313.94	378.24
X1559	60%	307,324	3,506	1,366	3429	6,934.5	20%	80%	70.36	286.86	357.23
X1229	46%	319,788	3,648	1,421	3571	7,218.9	20%	80%	53.78	219.39	273.17
X2006	43%	278,198	3,503	1,236	3418	6,921.5	18%	82%	45.05	207.11	252.16
X1336	85%	357,125	3,968	1,587	3893	7,861.0	20%	80%	101.83	402.49	504.32
X2006	39%	315,716	3,976	1,403	3891	7,866.3	18%	82%	41.23	189.92	231.15
X1598	23%	208,523	2,379	927	2302	4,680.3	20%	80%	27.05	109.54	136.59
X1706	66%	199,417	3,693	886	3568	7,260.8	12%	88%	47.45	341.29	388.75
X1046	114%	227,296	2,930	1,111	2843	5,772.1	19%	81%	129.45	542.98	672.43
X0877	45%	342,565	3,806	1,421	3731	7,537.5	19%	81%	50.51	217.41	267.92
X1034	149%	400,528	5,993	4,154	5892	11,885.2	35%	65%	308.44	574.12	882.56
X1060	25%	240,384	3,405	1,202	3320	6,725.9	18%	82%	26.40	121.35	147.75
X2038	24%	363,350	6,056	1,817	5956	12,011.7	15%	85%	21.45	120.39	141.84
X1687	49%	175,004	2,946	875	2845	5,790.7	15%	85%	43.76	245.83	289.59
X1942	47%	272,272	3,857	1,361	3772	7,629.3	18%	82%	49.56	228.21	277.77
X1383	67%	204,818	3,004	1,024	2916	5,920.0	17%	83%	68.50	327.47	395.97
X1947	73%	231,916	3,633	3,208	3539	7,172.6	45%	55%	192.97	238.46	431.43
X1947	123%	280,224	4,390	3,876	4296	8,686.3	45%	55%	324.40	402.53	726.93
X1722	69%	136,626	3,325	683	3179	6,503.1	11%	89%	42.84	364.95	407.79
X0686	47%	204,840	3,209	1,024	3115	6,324.2	16%	84%	44.98	232.79	277.77
X1951	25%	186,720	3,579	1,027	3464	7,042.5	15%	85%	21.55	126.20	147.75
X1664	96%	179,875	2,938	989	2840	5,777.9	17%	83%	97.15	470.21	567.36
X1950	50%	155,040	3,127	853	3006	6,132.2	14%	86%	41.09	254.41	295.50
X1950	47%	202,660	4,087	1,115	3966	8,052.9	14%	86%	38.45	239.32	277.77
X2001	46%	173,443	3,035	954	2930	5,965.5	16%	84%	43.47	228.39	271.86
X1038	74%	86,668	1,849	477	1721	3,569.8	13%	87%	58.40	378.94	437.34
X2022	95%	109,385	2,334	602	2206	4,539.0	13%	87%	74.42	487.03	561.45
Promedio							0.22	0.78	75.40	260.89	336.30

Datos estimados por los operarios y registros de compra de cilindros de gas.

Tabla VI. Información sobre cilindros de gas Ball It

Proceso de producción	Simple cavidad
Duración de cilindro	100 a 125 horas
Costo del cilindro de Ball It	\$ 595.00
Velocidad promedio de producción	80 envases / minuto
Eficiencia mínima	480,000 envases / cilindro
Eficiencia máxima	600,000 envases / cilindro

1.5 Detección de mejora del proceso

La aplicación del tratamiento a alta temperatura es un proceso simple, y debido a la baja frecuencia de producción en la planta local, no había sido objeto de estudio, pero debido al dinamismo de los requerimientos del mercado, se hace necesario poder producir en con la misma frecuencia en plantas locales y externas, aumentando el uso de este proceso localmente.

Hay líneas de producción que trabajan a altas velocidades, la mayor parte de envases que se producen son envases para uso de bebidas carbonatadas y cervezas, y estos no requieren que se aplique el tratamiento.

También se producen envases para licores y alimentos, debido a que son envases de más capacidad, formas irregulares y de boca ancha, la velocidad es baja.

Debido a la baja velocidad, la aplicación continua de flujo implica un porcentaje bastante alto desperdicio de gas, que se refleja directamente en el costo de los cilindros de gas, siendo este el objeto de estudio y proceso a mejorar.

1.6 Análisis económico del funcionamiento actual

Tabla VII. Costo del proceso actual

Costo del cilindro de gas	\$595.00
Duración del cilindro en horas	125
Tiempo sin uso	
Horas de cambio de moldes	6
Número de cambios de moldes por mes	15
Horas mensuales sin uso	90
Horas de uso reales mensuales	630
Número de cilindros mensuales	5.04
Número de cilindros anuales	60.48
Costo mensual	\$2,998.80
Costo anual	\$35,985.60

2. PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE APLICACIÓN DE GAS

La propuesta se basa en el uso de dispositivos electrónicos para la operación automática del proceso, y para reducir al máximo el tiempo de operación manual, y la más importante aplicación efectiva del tratamiento para asegurar la calidad en la producción de los envases.

2.1 Esquema del sistema propuesto

Las características principales del sistema propuesto son los siguientes:

- Aplicación únicamente en la parte interna del envase
- Arranque automático
- Cambio automático de cilindros de gas (principal y reserva)
- Sistema de rechazo de envases por falta de tratamiento
- Sistema de alarmas que detecten, ausencia gases, mal funcionamiento de la electro válvula.
- Interconexión con el sistema principal mando y monitoreo

2.1.1 Aplicación automática

Con el uso de una electro válvula, controlada por una unidad de control lógico programable (sus siglas en inglés PLC, programmable logic controller) se ejecuta la aplicación de manera exacta en el envase, por medio de un sensor óptico, la corona de cada botella interrumpirá el haz del sensor, esta interrupción generara la señal de aplicación, esta señal es enviada al PLC y

este controlará la electro válvula de aplicación, evitando que el gas se aplique en lugares incorrectos.

Además, el sistema puede estar encendido e iniciar a funcionar automáticamente hasta el momento que un envase sea detectado, sin importar cuanto tiempo dure el siguiente envase en atravesar la zona de detección.

Figura 18. Esquema de la aplicación automática

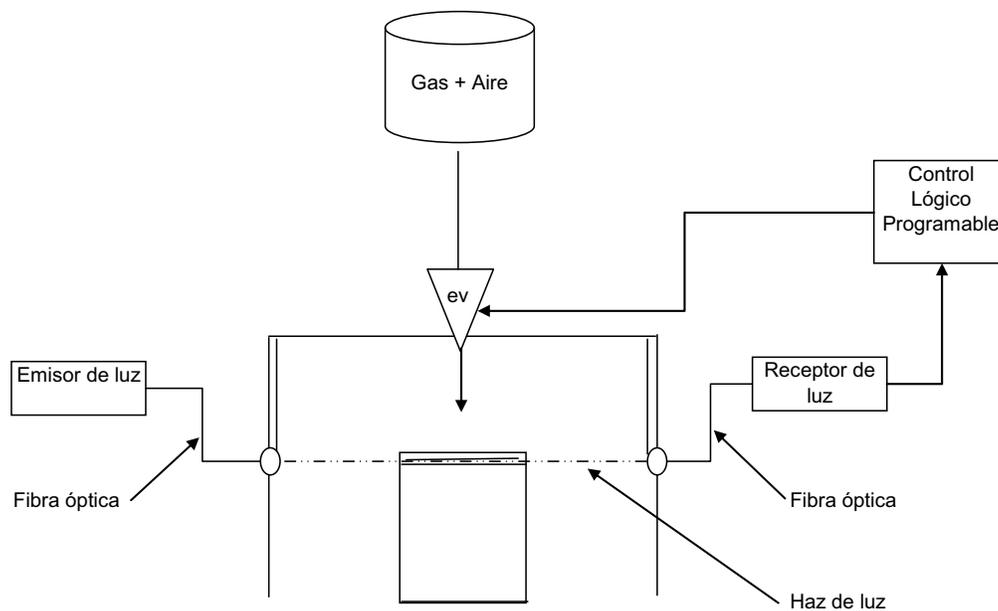
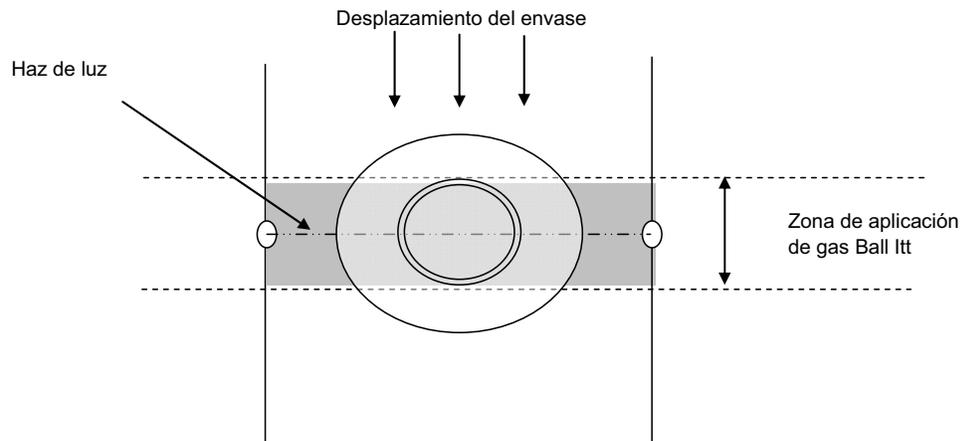


Figura 19. Área de aplicación de gas



2.1.2 Cambio automático de cilindros de gas Ball it

Con el fin de minimizar el tiempo de cambio de cilindro de gas, a través de una electro válvula de dos vías, se realizara el cambio instantáneamente, esta electro válvula estará controlada por interruptores de presión, con ello se reduce el tiempo de cambio y el riesgo de enviar envases sin tratamiento.

El tiempo del cambio no es mayor de 40 milisegundos (aproximadamente), este es exactamente tiempo de cierre y apertura de la electro válvula.

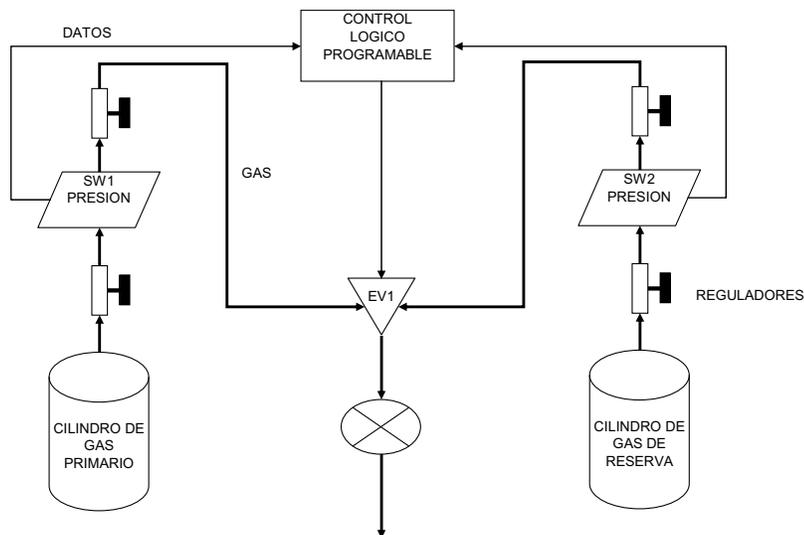
El sistema tiene dos cilindros, el cilindro principal y el de reserva ó secundario, el intercambio se realiza cuando el cilindro principal se agota ó queda sin presión suficiente para la aplicación, el cilindro de reserva queda trabajando hasta que se reemplaza el cilindro principal.

Únicamente funcionará un cilindro a la vez, y el sistema siempre iniciará con el cilindro principal, si este no tiene la capacidad necesaria para trabajar se hace el cambio inmediatamente, si el cilindro de reserva tampoco esta en condiciones de operación, se activara el sistema de alarma.

Este sistema depende básicamente de los interruptores de presión en cada cilindro, dichos interruptores detectan el nivel de capacidad, con una lectura menor al 5%, se ejecuta la acción de cambio de cilindro.

La señal es enviada al PLC para ejecutar la instrucción de acuerdo a la lógica del programa, que varia de acuerdo a las diferentes combinaciones que pueden tener los datos enviados por cada interruptor de presión.

Figura 20. Esquema de cambio automático de cilindros de gas



2.1.3 Sistema de rechazo de envases

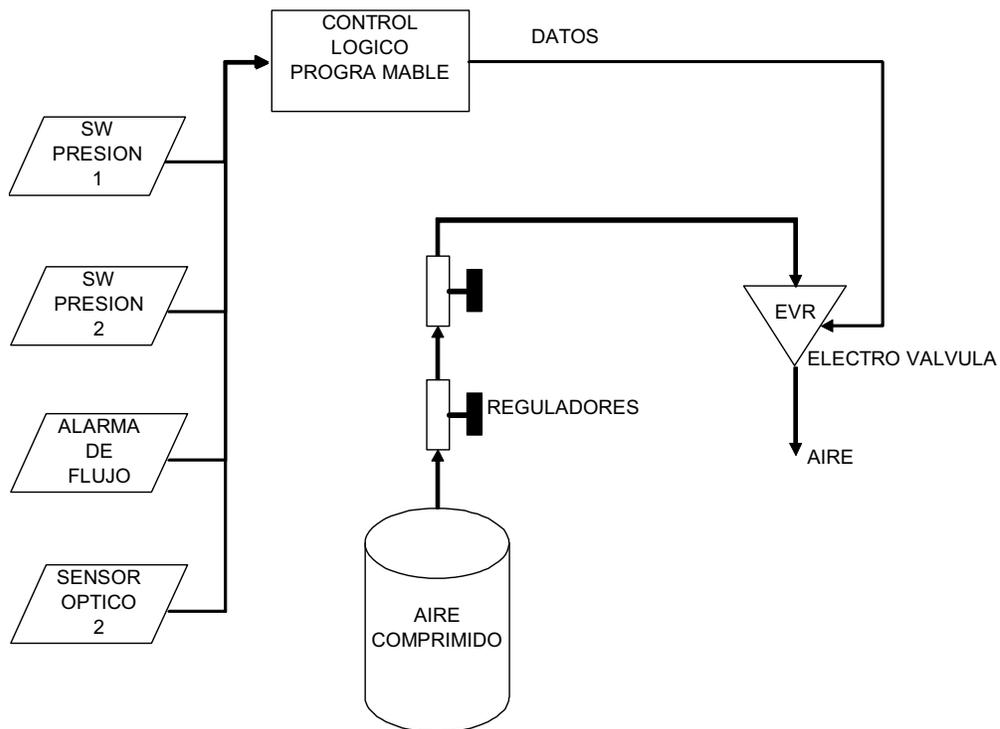
La ausencia de aplicación del tratamiento es uno de los controles más difíciles de encontrar en el laboratorios de control de calidad, debido que el tratamiento no deja ninguna evidencia visual de que el envase ha sido tratado con gas Ball IT, este proceso puede provocar problemas de contaminación en los productos envasados y en consecuencia reclamos de los clientes, por lo que al no estar la condición ideal de aplicación, el envase debe rechazarse automáticamente de la línea de producción, por medio de una electro válvula que aplicar aire comprimido, el envase es expulsado de la línea y es enviado a la línea de reciclaje.

El sistema depende de los interruptores de presión, ubicados en los cilindros de gas y un detector de flujo de gas, ellos generan señales que son interpretadas por el programa que controla el PLC, bajo condiciones anormales de funcionamiento se activara la electro válvula, el sistema utiliza interruptores que forman parte de otros circuitos.

Este control se activa cuando se detectan las siguientes fallas

- Ausencia de gas
- Ausencia de aire
- Ausencia de flujo (no funciona la electro válvula de aplicación)
- Mala operación de sensores de ópticos.

Figura 21. Esquema de sistema de rechazo de envases

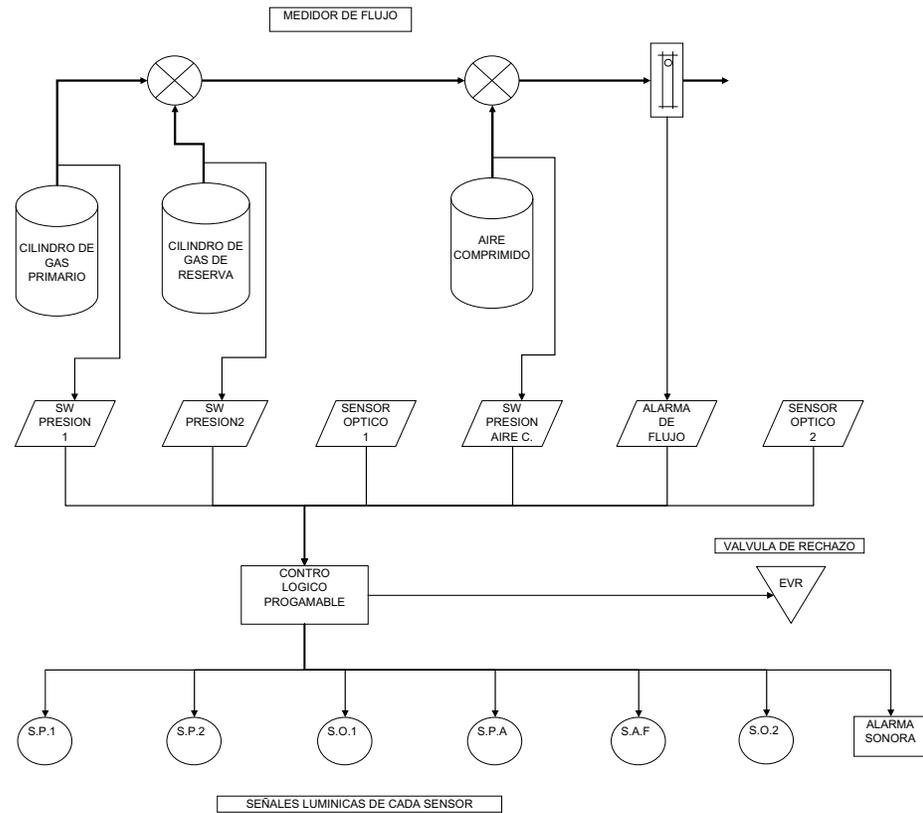


2.1.4 Sistema de Alarmas y monitoreo

Su función principal es indicar el momento en que se presenta una condición no deseada, y la detección del envase para aplicar la cantidad necesaria del tratamiento.

También monitorea constantemente la presencia de ambos gases (aire y ball it), el funcionamiento de la electro válvula, y en ausencia de cualquiera de los gases, inmediatamente da la orden para rechazar el envases que circule en ese momento.

Figura 22. Esquema de sistema de alarmas y monitoreo

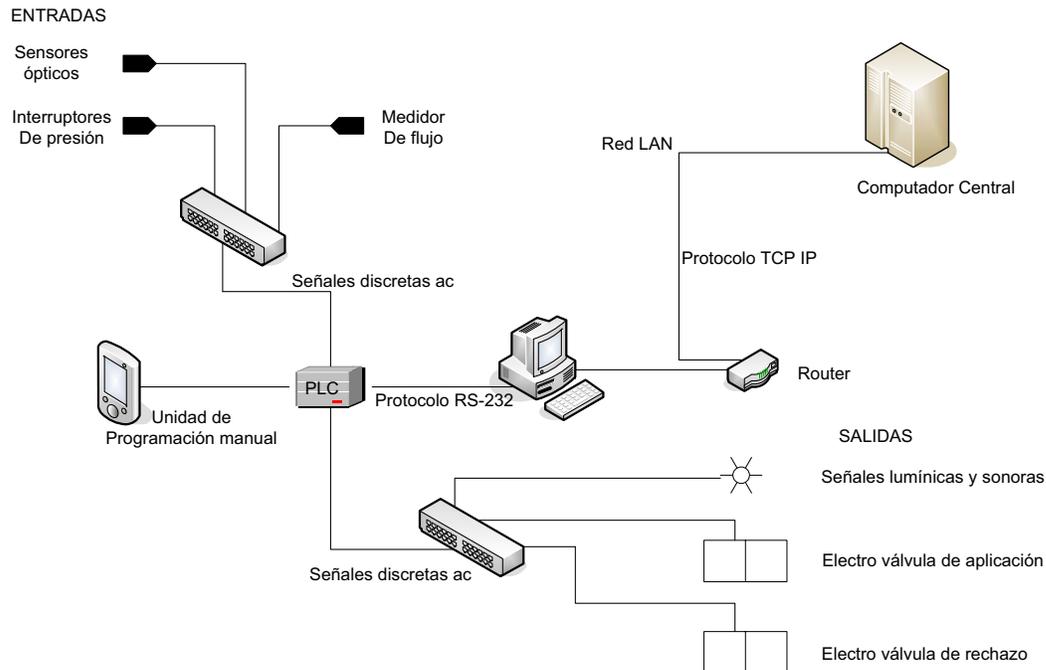


2.1.5 Interconexión con el sistema principal

El PLC puede comunicarse con una computadora por medio de un puerto serial RS-232 o RS 485, desde la computadora se puede controlar dicho proceso.

Esta computadora se puede conectar al computador central por medio de una conexión LAN (local area network) utilizando el protocolo de comunicación TCP/IP.

Figura 23. Esquema de interconexión con el sistema principal



2.2 Selección de dispositivos

2.2.1 Unidad de control

El dispositivo que cumple con las características requeridas es un control lógico programable, de acuerdo a las diferentes entradas y salidas que queremos controlar, además la necesidad de poder comunicarse y maniobrar desde puntos remotos.

Además permite la manipulación de información y operaciones lógicas, aritméticas contadores, tiempo de operación, funciones básicas para el desarrollo del proyecto.

Las entradas y salidas seleccionadas son del tipo discreto AC, esto facilita las interconexiones desde y hacia el PLC. Otro factor es la amplia disponibilidad de dispositivos de 120 voltios AC, sin limitarse a una marca o modelo específico.

2.2.2 Sistema de aplicación automática

Los dispositivos básicos que intervienen en esta operación son la electro válvula y la circuito foto detector.

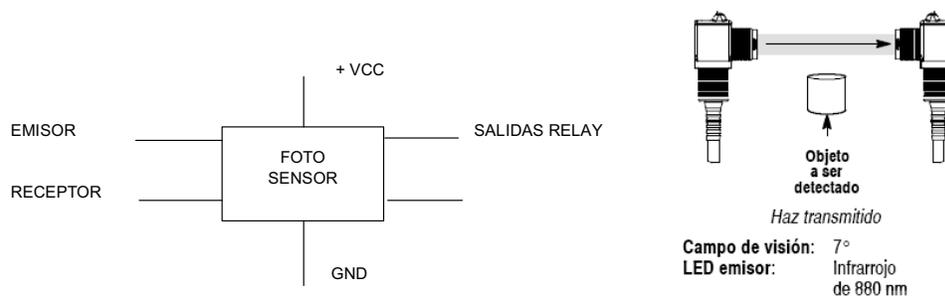
Electro válvula

- Accionamiento por solenoide
- Válvula normalmente cerrada, de dos vías
- 120 voltios
- Tiempo mínimo de accionamiento 40 milisegundos

Sensor óptico

El sensor óptico es un circuito diseñado para el funcionamiento del sistema con el PLC.

Figura 24. Esquema de sensor óptico



Características del sensor fotoeléctrico

- Voltaje 120 voltios AC
- Temperatura máxima de operación 60 grados centígrados
- Salida relay
- Detección por interrupción de haz emisor receptor.
- Resistente a la vibración
- Rango de detección máximo 2 mt (distancia entrega emisor-receptor)
- Fibra óptica con protección metálica

2.2.3 Sistema de cambio automático de cilindros de gas

Los componentes de este circuito son los interruptores de presión y las electro válvulas.

Electro válvula

- Accionamiento por solenoide
- Válvula normalmente cerrada, de dos vías
- 120 voltios AC
- Tiempo mínimo de accionamiento 40 milisegundos

Los interruptores de presión deben tener las siguientes características

- Para aire y gases no corrosivos
- Contactos de polo simple
- Contactos 120 voltios AC, 5 amperios
- Temperatura de operación mínimo 60 grados centígrados
- Ajuste de presión diferencial entre 2 – 95 psi

2.2.4 Sistema de monitoreo y alarmas

Algunos de los dispositivos también forman parte de otros sistemas

Manómetros estándar

Medidores de flujo (rotarometro)

- Material del tubo, acrílico
- Temperatura de operación 60 grados centígrados
- Rango de presión 0 – 50 psi

Sensor óptico para medidor de flujo (Tagle eye, Key instruments)

- Salida digital 5 voltios
- Fuente de voltaje 120 voltios AC a 5 voltios DC
- Relay 120 voltios

Luces indicadoras de paneles

- Tamaño 30 mm
- 120 voltios ac
- Colores verde y rojo

Bocina o *buzzer*, con luz indicador

- 120 voltios

Alarma lumínica de emergencia

- 120 voltios AC

2.2.5 Sistema de rechazo de envases

Este sistema recibe información de los circuitos utilizados en el sistema de monitoreo y alarma, específicamente de los interruptores de presión

Electro válvula

- Accionamiento por solenoide
- Válvula normalmente cerrada, de dos vías

- 120 voltios AC.
- Tiempo mínimo de accionamiento 40 milisegundos

2.2.6 Interconexión con el sistema principal

Cable serial (PLC a Computadora)

Tarjeta de red 10 baseT

Cable de red UTP categoría 5 (8 hilos)

2.3 Descripción de funcionamiento

2.3.1 Unidad de control

La unidad de control esta compuesta por una unidad de control lógico programable, por la necesidad de almacenar datos, y la comunicación que debe tener con el computador central de mando y monitoreo.

La comunicación se hace a través de un conector puerto serial RS 232, esto a su vez permite el control sobre el algoritmo que controla este proceso y su interconexión con el centro de mando, para maniobras remotas, detección de envases y aplicación.

2.3.2 Detección de envases y aplicación automática

El sistema utiliza sensores foto eléctricos para detectar cada envase, esto se logra por medio de la interrupción de un haz de luz, estos sensores están ubicados de manera perpendicular al movimiento de los envases. El tiempo en el que los envases atraviesan los sensores es el tiempo que la electro válvula aplicara el gas.

Los sensores detectan la corona del envase debido a que es la parte con más espesor de vidrio, esto permite hacer el corte del haz de luz, si se hiciera en el cuerpo del envase se presenta problema de detección especialmente en los envases de color cristalino, como se mostró anteriormente los envases tienen formas diversas, además la corona es la que limita la zona de aplicación de gas, con esta disposición de los sensores se logra aplicar el gas únicamente en la parte interna del envase.

Las electro válvulas utilizadas para controlar el proceso de aplicación no tienen una respuesta inmediata, por lo que el aplicador está adelantado una distancia "X", que puede ser hasta 2 centímetros, esta distancia es recorrida por el envase, justo cuando ha iniciado la aplicación del gas.

El tiempo del cierre y apertura de la mejor electro válvula es de 40 milisegundos, por lo que el cierre se retarda este tiempo para garantizar la aplicación únicamente en el interior del envase, evitando aplicación excesiva en la superficie externa.

El exceso de gas en la superficie externa reacciona como aislante, provocando que el tratamiento externo que sirve para dar brillo y resistencia mecánica, no se adhiera y causando vulnerabilidad con los rayones, y por ende problemas de apariencia.

La señal generada por los sensores es enviada a la unidad principal de control, un PLC, este controla el funcionamiento de la electro válvula.

Este sistema de detección tiene la ventaja que únicamente va aplicar si hay envases atravesando el haz de luz, de lo contrario no funciona, esto

comparado con el sistema anterior, reduce significativamente la eficiencia en el uso de los cilindros de gas utilizados en este proceso.

2.3.3 Cambio automático de cilindros de gas

Para hacer el cambio de automático el sistema utiliza interruptores de presión para cada uno de los cilindros, si un cilindro se termina, se activa la electro válvula y hace el cambio automático para el otro cilindro, y deja una señal lumínica indicando que el cilindro principal está vacío y necesita cambio.

Bajo esta condición pueden suceder dos situaciones:

- a) Trabajar con el cilindro de reserva, y reemplazar cilindro principal.
- b) Trabajar con el cilindro de reserva, y no reemplazar cilindro principal.

Secuencia trabajando con el cilindro de reserva y se reemplaza el cilindro principal.

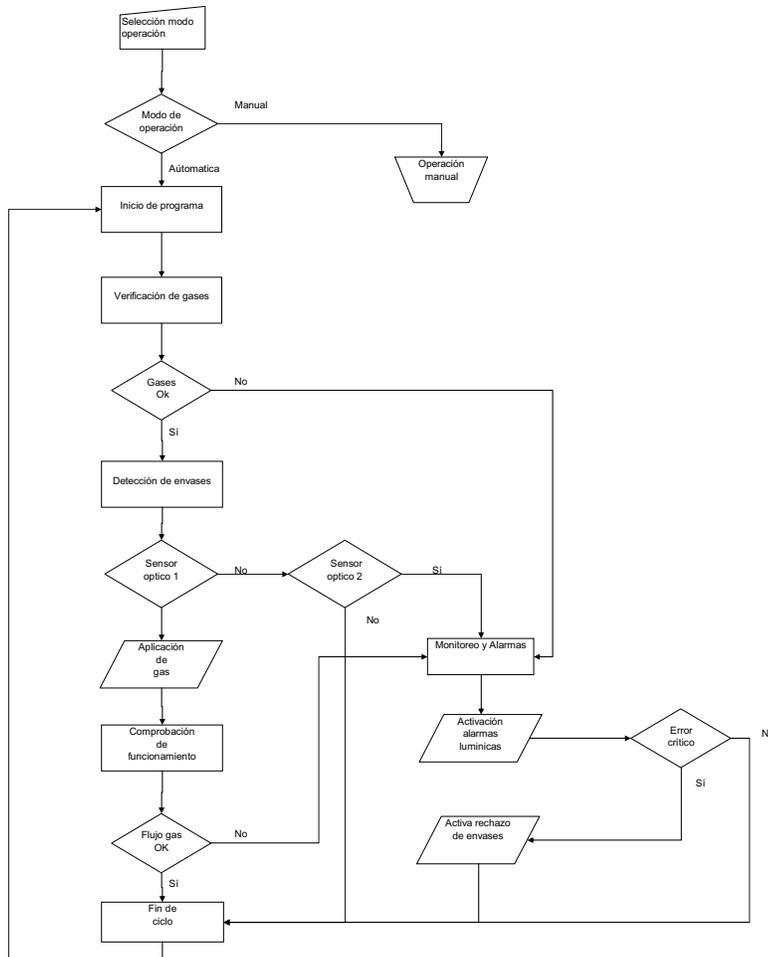
Bajo estas condiciones suponemos que el cilindro de reserva está trabajando, y se reemplaza el cilindro principal, el interruptor de presión detecta el cilindro de gas principal, el sistema cambia automáticamente la electro válvula conectando el cilindro principal, el interruptor de presión del cilindro de reserva detecta su actual capacidad, si este estuviera agotado, se activa la señal lumínica por falta de gas de reserva, el cambio del cilindro es instantáneo y continúa el funcionamiento normal del sistema.

Secuencia trabajando con el cilindro de reserva y no se reemplaza el cilindro principal.

Bajo estas condiciones suponemos que el cilindro de reserva se termina, y no se ha reemplazado el cilindro principal, ambos interruptores detectan la ausencia del gas, estas dos señales activan la señal de la alarma sonora, indicando que no hay gas en ningún cilindro, también se activa el sistema de rechazo de envases, y se detiene el funcionamiento de la electro válvula. El sistema inicia hasta que es colocado un cilindro nuevo, en este momento se desactiva la señal de rechazo y el sistema inicia nuevamente a funcionar.

2.3.4 Control del sistema

Figura 25. Diagrama de flujo de programa de control del PLC



El PLC ejecuta un pequeño programa que controla el sistema y brinda todas las ventajas propias del PLC, en conectividad, control, monitoreo local y a distancia.

El sistema de mando se limita a encender y apagar el sistema. Si el sistema esta encendido verifica las presiones de los gases antes de iniciar el proceso de aplicación.

El sistema de alarma y monitoreo es muy importante y se encarga de verificar el correcto funcionamiento de cada sistema, por ejemplo:

- presiones de gas
- funcionamiento de la electro válvula
- funcionamiento de sensores detectores de envases

Controles y ajuste manuales

Los ajustes de presión de cada cilindro, y de la presión de aplicación según cada envase, en promedio la presión de aplicación es de 15 psi.

Los ajustes mecánicos son los de la de la plataforma que soporta los sensores de las coronas de los envases, esta se ubica a la altura de la corona de cada envase, este ajuste se hace en dirección vertical y horizontal dependiendo de la forma del envase y el diámetro de su corona.

Esto cambios se hacen cuando se cambia el tipo de envase que se va producir y para efectuar este pequeño ajuste se toman 10 minutos de las 4 horas disponibles para realizar el cambio de envase en la línea de producción.

2.3.5 Sistema de rechazo de envases

Este sistema utiliza las información de otros sistemas, en condiciones anormales de funcionamiento se activara una electro válvula y se disparara aire comprimido directamente a los envases, estos serán enviados directamente a la túnel de reciclaje.

2.3.6 Sistema de monitoreo y alarmas

Todas las señales provenientes de los sensores ópticos e interruptores y señales de control envían la información al PLC, este a su vez activa los dispositivos de control y activa las señales de monitoreo.

Dispositivos de monitoreo en el tablero de control

- Indicadores lumínicos
- Dispositivos sonoros
- Medidores de presión
- Medidores de flujo

2.4 Comparación económica de ambos sistemas

La información obtenida del funcionamiento actual del sistema muestra que tiene una eficiencia de aplicación promedio del 22%, y un 78% de pérdidas, por cada cilindro que es utilizado, esto se debe principalmente que el flujo de gas es continuo.

Tabla VIII. Costo y eficiencia de cilindros de gas (a) por cilindro (b) por consumo anual.

Costo por cilindro	\$595.00
Costo eficiencia 22%	\$130.90
Costo pérdidas 78%	\$464.10
Costo anual cilindros	\$35,985.60
Costo anual aplicación ef. 22%	\$7,916.83
Costo anual pérdidas 78%	\$28,068.77

Con la implementación de un sistema controlado se busca una aplicación eficiente del 95%

Tabla IX. Proyección de costos con el sistema propuesto (a) por cilindro (b) anual

Costo del cilindro	\$595.00
Costo eficiencia 95%	\$565.25
Costo pérdidas 5%	\$29.75
Costo anual cilindros	\$8,333.55
Costo anual aplicación ef. 95%	\$7,916.87
Costo anual pérdidas 5%	\$416.68

La eficiencia de aplicación incide directamente en el costo de este proceso. La diferencia de costos entre ambos sistemas, proporciona un buen parámetro para la implementación de dicho proceso.

2.5 Comparación económica y operativa del proceso

El costo del proceso: la pérdida anual equivale a casi 5 veces el valor de la implementación del proyecto. El ahorro anual que se puede obtener es de casi \$27,500.00

La parte operativa del proceso: el sistema es automático y requerirá la intervención del operador cuando se presente una condición anormal de operación ó por el reemplazo de cilindros de gas.

La gran ventaja es el poco tiempo requerido para la puesta en marcha y la seguridad de que si hay algún inconveniente el sistema avisara por medio de las alarmas, además el tiempo de duración de cada cilindro de gas de 100 horas se eleva a 539 horas, de las 630 requeridas al mes, lo que implica un solo cambio al mes.

Las ventajas son principalmente el tiempo necesario de operación y el beneficio económico de dicho proceso.

3. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA AUTOMATIZADO

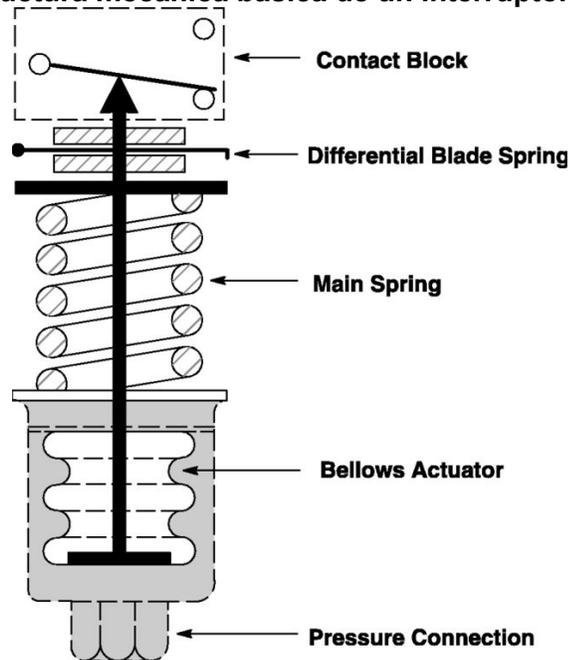
3.1. Definiciones técnicas y terminología

3.1.1. Interruptores de presión

3.1.1.1. Teoría de operación

Los controles de presión son diseñados para abrir y cerrar circuitos eléctricos en respuesta a cambios de presión neumática (aire ó gas) ó hidráulica (agua ó aceite).

Figura 26. Estructura mecánica básica de un interruptor de presión



Fuente: Información técnica fabricante Allen Bradley
<http://www.ab.com/catalogs>

La figura muestra un dibujo simplificado de un control de presión.

El sistema de presión es conectado a la conexión de presión (pressure connection).

El sistema de presión es aplicado directamente dentro del actuador (below actuator), cuando la presión aumenta, el actuador ejerce una fuerza sobre el resorte principal (main spring), cuando la fuerza umbral del resorte principal es vencida, transfiere el movimiento al bloque de contactos, provocando que los contactos actúen – esto es referido a la presión de disparo - cuando la presión decrece, el resorte principal busca su posición original, provocando que la hoja diferencial secundaria del resorte se active y regrese los contactos a su posición original – esto es referido a la posición de reset. Variando la fuerza del resorte principal, se determina donde el contacto se disparará. Variando la fuerza de hoja diferencial secundaria se ajustara el reset.

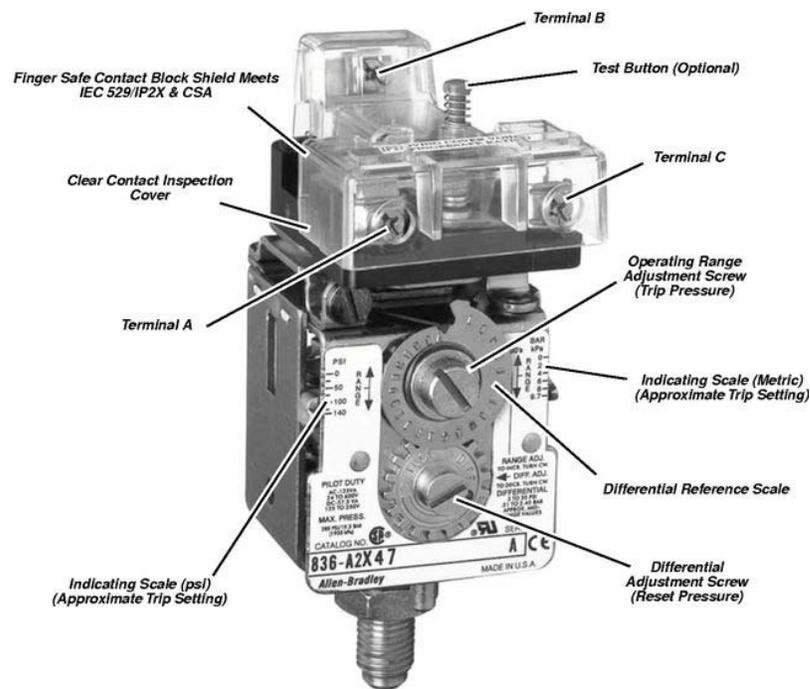
Los controles de presión son diseñados para detectar y controlar presión, las aplicaciones más comunes son en sistemas neumáticos e hidráulicos, están construidos de materiales como aleaciones de cobre y acero inoxidable. Depende de la calidad de los materiales su ciclo de operación con aire, agua, aceite, líquidos corrosivos, vapores y algunos líquidos corrosivos. Algunos para una mejor precisión tienen contactos de plata.

Pueden mantener valores de presión entre dos valores prefijados, se pueden usar para detectar sobre presiones en gases o líquidos para proteger la máquinas, procesos y al mismo personal. También pueden ser usados para detectar las bajas presiones para proteger de equipos de pérdidas y bajas presiones.

Algunas aplicaciones son

- Compresores de aire
- Sistemas monitores de aire comprimido
- Control de nivel de líquidos
- Sistemas de transferencia de vacío
- Alertas de alta presión
- Alertas de baja presión
- Monitores de alta y baja presión

Figura 27. Interruptor de presión



Fuente: Información técnica fabricante Allen Bradley
<http://www.ab.com/catalogs>

3.1.1.2. Terminología

Adjustable Operating Range (Rango de operación ajustable): Rango total dentro de los cuales los contactos pueden ser ajustados para el disparo y el reinicio de operación del sensor.

Trip Setting (Ajuste de disparo): Valor de alta presión en el que los contactos se transfieren de su estado normal a su estado diferente.

Reset Setting (Ajuste de Reset): Valor de presión baja que regresa los contactos a su estado normal.

Adjustable Differential (Ajuste Diferencial): Diferencia entre los valores de disparo y reset.

Minimum Differential (Mínimo Diferencial): Cuando el diferencial es ajustado a la baja presión entre disparo y reset.

Maximum Differential (Máximo Diferencial): Cuando el diferencial es ajustado a la presión alta entre el disparo y el reset.

Max. Occasional Surge Pressure (Máxima Subida de Presión Ocasional): Máxima elevación de presión que puede ser aplicada al actuador. Picos o transitorios pueden ocurrir durante el arranque o el paro de una máquina o un sistema, expresada en milisegundos, instrumentos electrónicos complejos son requeridos para medir la variación de la amplitud, frecuencia y duración de la forma de onda. Máximos picos que ocurren aproximadamente 8 veces en periodos de 24 horas son insignificantes.

Maximun Line Pressure (Línea Máxima de Presión): Máxima presión sostenida que puede ser aplicada al control de presión sin riesgo de daño permanente. El control puede ser no ciclado en esta presión.

Positive Pressure (Presión Positiva): Es una presión mayor que cero libras por pulgada cuadrada (psi), el ajuste de disparo con una presión alta cambia de estado, cuando la presión disminuye los contactos vuelven a su estado normal.

Vacuum (Negative) Pressure (Presión Negativa ó de Vacío): Es una presión menor de cero libras por pulgada cuadrada (psi), el ajuste de disparo con una presión negativa cambia de estado, cuando el vacío disminuye los contactos vuelven a su estado normal.

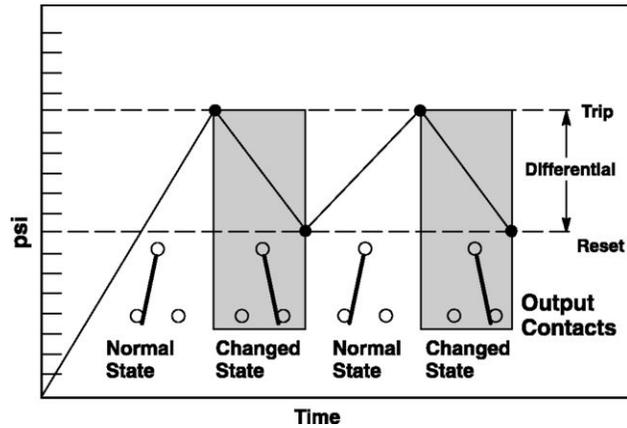
Pressure Media (Medios de presión): Hay muchos medios donde la presión es controlada, por ejemplo aire, agua, fluidos, gases y otros líquidos. Dependiendo del tipo de medio se determinará el actuador del control de presión.

Pressure Connection (Conexión de Presión): Los tipos más comunes de conexiones de presión usadas son $\frac{1}{4}$ y $\frac{3}{8}$ "y $\frac{7}{16}$ " en tubería de cobre.

3.1.1.3. Aplicaciones de control

Controles de presión pueden ser usados para controlar o monitorear maquinas o procesos.

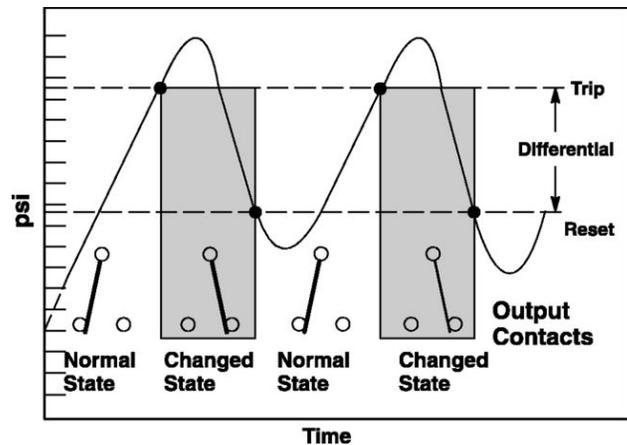
Figura 28. Aplicación típica de control de presión



Fuente: Información técnica fabricante Allen Bradley
<http://www.ab.com/catalogs>

La presión es controlada dentro de valores determinados de presión.

Figura 29. Aplicación de monitoreo de presión



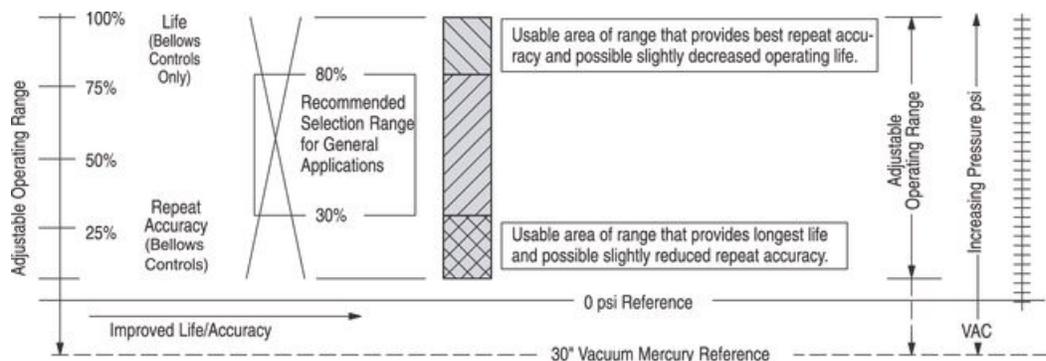
Fuente: Información técnica fabricante Allen Bradley
<http://www.ab.com/catalogs>

La presión es monitoreada dentro de valores alto y bajo de presión, señalando cuando el limite prefijado ha sido excedido.

Exactitud repetitiva y vida mecánica

Se puede alcanzar una exactitud del $\pm 0.5\%$ o mejor, la repetitividad de la exactitud es basada en porcentaje del máximo rango, evaluado de prueba de datos y calculada usando la formula por los estándar NEMA ICS 2-225. La repetitividad de la exactitud y la vida mecánica de los controles tipo bellows son gráficamente ilustradas en la Fig. 8.

Figura 30. Exactitud versus vida útil de interruptores de presión



Fuente: Información técnica fabricante Allen Bradley
<http://www.ab.com/catalogs>

Para aplicaciones generales, controles seleccionados donde los contactos de operación entre el 30% y 80% del rango de operación y donde la línea máxima y picos de presión no exceden los valores específicos proveerán una excelente vida y repetitividad de exactitud, para aplicaciones más específicas, es importante notar que los controles diseñados para operar abajo o arriba de estos valores.

3.1.1.4. Características y parámetros

Operación de contactos

Los bloques de contactos son de polo simple, doble tiro y pueden ser abiertos o cerrados incrementado o reduciendo la presión.

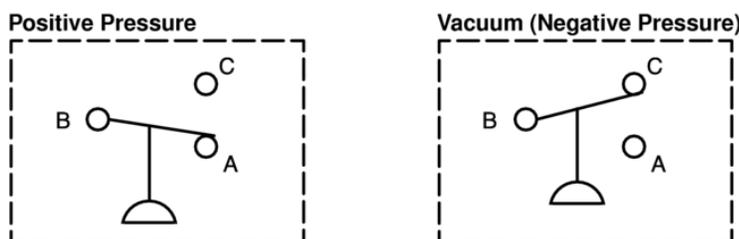
Rangos de operación No Inductivos

5 Amperes, 240 voltios

3 Amperes, 600 voltios

(Allen Bradley)

Figura 31. Configuración de contactos



Fuente: Información técnica fabricante Allen Bradley
<http://www.ab.com/catalogs>

Circuitos de control

AC 125VA, 24 a 600 voltios

CD 57.5 VA, 115 a 230 voltios

De 32 °F (0 °C) a inferior es basado en la ausencia de congelación o humedad, agua u otros fluidos que pueden solidificarse e impedir la operación del control.

Rangos de operación

•22 °F a +150 °F (30°C a 66°C)

Almacenamiento

•22°F a 200°F (-30°C a 93°C)

3.1.1.5. Parámetros para la selección de controles de presión

Tipo de Actuador:

Bellow interno o externo, material del actuador: actuador de cobre o acero inoxidable.

Rangos de operación ajustable

30" de Mercurio a 375 psi

30" de Mercurio a 900 psi

Diferencial ajustable

2 a 95 psi

0.2 a 125 psi

0.4 a 80 psi

Presión Máxima

1300 psi

Medios de presión

Aire, agua, fluidos hidráulicos, líquidos corrosivos y no corrosivos, gases corrosivos y no corrosivos.

Armazón (*Enclosures*)

Circuito abierto, Nema *type* 1, Nema *type* 4 & 13, Nema *type* 4x, Nema *type* 7 & 9.

Conexiones

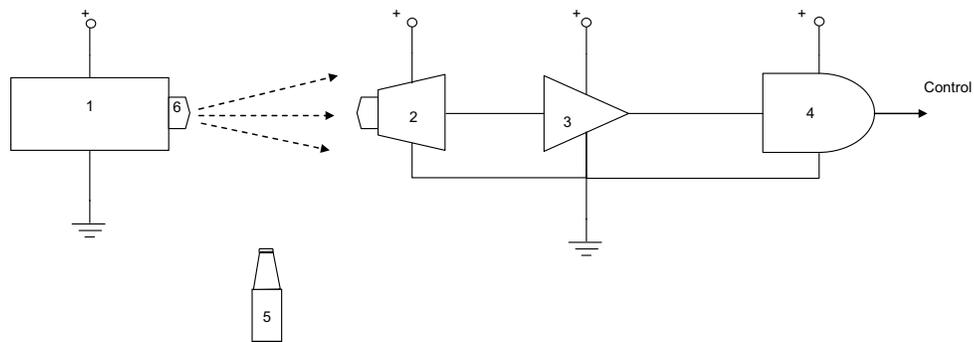
Macho, Hembra 7/16" – 20 SAE Flase forn ¼" tubería de cobre

3.1.2. Sensores fotoeléctricos

3.1.2.1. Teoría de operación

Es un dispositivo que señala o da una orden eléctrica, cuando un objeto o parte de un mecanismo interrumpe el haz de radiación infrarroja emitido por el transmisor del sensor, el cual tiene que ser detectado por el sensor el mismo, dando una orden o señalización cuando la radiación no sea detectada.

Figura 32. Esquema de un circuito foto detector



1. Transmisor de radiación
2. Detector
3. Amplificador de señal
4. Procesador
5. Objeto (que será detectado)
6. Señal

Transmisor

El transmisor emite una señal electromagnética del espectro infrarrojo (no visible), algunas veces se utiliza el espectro de radiación visible ó ultravioleta, la señal puede ser producida por bombillas incandescentes, tubos fluorescentes que emiten luz ultravioleta, LEDES (*Light emitting diodes*), estos pueden transmitir la señales lumínicas visibles o infrarrojas, estos últimos son los mas comunes. La radiación emitida es constante algunas veces la frecuencia es modulada a un valor específico.

Detector

Es el elemento principal del elemento receptor infrarrojo, su función es detectar la señal producida por el emisor, el transmisor y detector deben trabajar a la misma frecuencia, los dispositivos comúnmente utilizados para este propósito son los fototransistores, fotorresistencias y fotodiodos, cuando reciben la señal del transmisor cambian su comportamiento normal de operación, conduciendo corriente en menor ó mayor grado.

Amplificador

Tiene por objeto amplificar la señal detectada por el transductor óptico (fototransistores, fotorresistencias y fotodiodos) y convertirla a una señal adecuada (en forma y nivel) para que pueda ser interpretada por dispositivos de control ó procesadores de información.

Procesador

Convierte la señal recibida por el amplificador en una orden, que será utilizada para ejecutar una acción específica, esta acción puede ser la operación de un relevador o la activación de dispositivos semiconductores, tales como SCR (rectificadores de silicio controlado), transistores, thyristores, etc.

Objeto a detectar

La detección de los objetos se puede realizar interfiriendo la señal entre transmisor y receptor, o por reflexión, cuando el transmisor y receptor están en la misma posición y el objeto funciona como elemento reflectivo. Esta variación en las señales son las que se interpretan como presencia de los objetos.

Señal de radiación infrarroja

Esta es una señal electromagnética comprendida dentro del espectro de radiación infrarroja (no visible) en la banda de las longitudes de onda más largas e inmediatamente después de las oscilaciones correspondientes a las visibles (0.9×10^{-6} metros).

3.1.2.2. Clasificación de los sensores de posición ópticos

1. Sensores no reflectivos
2. Sensores reflectivos
 - a. Retro-reflectivo
 - b. Reflectivo-difuso

Sensores no reflectivos

Son todos aquellos en los que el transmisor y receptor están separados y directamente opuestos, la detección ocurre cuando la señal entre ambos es interrumpida, usualmente se colocan entre distancias grandes, son rápidos y tienen un alto nivel de confiabilidad, son inmunes al polvo y funcionan muy bien a condiciones ambientales normales. La limitante es que solo puede trabajar en línea recta y esto representa inconvenientes para su adaptabilidad mecánica.

Las aplicaciones típicas son controles de entrada y salida de puertas, detector de artículos en bandas rotativas, bandas invisibles para sistemas de seguridad.

Sensores retro-reflectivo

La configuración del transmisor y receptor es en paralelo, la señal emitida debe reflejarse en un espejo dispuesto en la posición frontal a ellos, la distancia debe ser corta, debido a que el espejo absorbe parte de la energía reduciendo el nivel de la señal además esta debe recorrer el doble de la distancia de separación entre sensor y espejo, la detección ocurre en el momento en que la señal es interrumpida.

La disposición en paralelo aumenta su adaptabilidad mecánica, son más vulnerables al polvo y humedad comparado con el sensor no reflectivo.

Las aplicaciones típicas son el control de rotación en ejes de motores, sensor de paso de artículos en bandas rotativas.

Sensor reflectivo difuso

Tiene la misma construcción que el sensor retro reflectivo, con la diferencia que este carece de un espejo, la señal se refleja en la superficie del objeto, la detección ocurre únicamente cuando el objeto esta presente.

La distancia entre el objeto y el sensor se ve afectada por la superficie del objeto, el ángulo formado entre el rayo emisor y la superficie del objeto, las condiciones ambientales como polvo, humedad y polvo.

Su mayor ventaja es la adaptabilidad por no tener accesorios adicionales para su instalación.

Las aplicaciones típicas son contadores electrónicos, lectores de códigos de barras, sensores de proximidad.

3.1.2.3. Terminología y Definiciones Técnicas

AC Coupled Amplifier (Amplificador de AC acoplado): Amplificador que amplifica solamente señales de pulso AS, las señales DC las ignora. Señales directas generadas por la luz solar, fuentes de calor y otras.

Alineación: Posicionar la fuente de luz, receptor, reflector ú objeto en el cual se obtiene la señal más fuerte.

Análogo: Circuito electrónico con una corriente o voltaje de salida, que varía en función de la intensidad de la luz que es recibida por el foto detector.

Ángstrom: Unidad de medida usada para determinar la longitud de onda de la luz. 10 Ángstrom (A) es igual a 1 nanometro (nm).

Attenuation (Atenuación): La reducción de una señal fuerte. Un ejemplo es cuando la luz viaja a través de un cable de fibra óptica, el grado de atenuación depende del material de la fibra, y el total de longitud del cable de fibra óptica.

Bending Radius (Radio de doblez): El máximo radio el que se puede doblar el cable sin que quiebre la fibra óptica.

CSA Certified (Certificación CSA): Certifica que ha sido probado por la *Canadian Standard Association* (Asociación Canadiense de Estándares) y aprobado eléctricamente y en seguridad.

Complementary Output: Salida de circuito con un dispositivo de salida doble, cuando una salida es energizada la otra salida esta desenergizada.

Current Sink (Corriente de bajada): Salida del transistor que requiere la corriente para fluir del positivo a través de la carga y entonces a través de la salida negativa. Una corriente de bajada es usada por los transistores NPN.

Current Source (Corriente de Alimentación): Salida del transistor que requiere para fluir del positivo a través de la carga y de la carga al negativo, esta corriente es usada por un transistor PNP.

Dark Operate (Operación Oscura): Un control de operación oscura energiza su salida cuando la intensidad de la luz ha disminuido en el foto detector.

Diagnostic (Diagnóstico): Aviso avanzado de pérdida en una señal fuerte debido a la desalineación, polvo ú otros, que originan la pérdida del control de la señal de salida.

Differential Travel (Viaje Diferencial): Distancia entre el punto de operación y el punto de liberación (release)

Diffuse Reflection (Proximity) (Reflexión Difusa): Un método de detección fotoeléctrica en el cual la luz emitida por la fuente de luz impacta en la superficie del objetivo y esta se refleja en todas direcciones.

Dwell – Time (Tiempo Residente): Longitud del tiempo fijo o ajustable de una salida de pulso, independiente de duración de la entrada de salida.

FM (Factory Mutual): Aprobación de la Fábrica

False Pulse (Pulso falso): Cambio de estado no deseado de la salida, ocurre usualmente en el encendido y apagado del equipo.

False Pulse Protection (Pulso falso): Circuito diseñado para evitar los pulsos falso.

Ferrule: Terminación del cable de fibra óptica.

Field of View (Campo de vista): La región que es iluminada por la fuente de luz y puede ser vista por el receptor. El campo de vista es expresado en grados pero es en tres dimensiones.

Fixed Focus (Foco Fijo): Modo de búsqueda, donde la fuente de luz y el receptor están dispuestos uno frente al otro, formando un punto focal donde ambas direcciones están cruzadas.

Gating: La provisión a aplicar una señal externa a un control con el objetivo de prevenir una operación indeseable, también llamado "Blinding"

IP Ratings (Rangos de protección): Grados de protección de dispositivos para interruptores de engranajes bajo voltaje y control de engranajes. Dos números son usados IP XX, el primero designa el grado de protección contra contacto de personas y contra el ingreso de cuerpos extraños. El segundo designa el grado de protección contra el ingreso de líquido.

Infra Red (Infrarrojo): Radiación de luz invisible, empezando desde una longitud de onda de 690 nanómetros (6900 Ångstrom) y más.

Leakage Current (Fuga de corriente): Una pequeña corriente que fluye a través de una salida de estado sólido cuando el estado de salida es cero (off).

Light Operate (Luz de operación): Un control de luz de operación energiza las salidas cuando la intensidad de la luz en el foto detector ha sido incrementada suficientemente.

Noise (Ruido): Presencia de un voltaje indeseable, corriente ó luz que puede causar mal funcionamiento en el control.

Opaque (Opaco): Los objetos opacos son más fáciles de detectar que los traslucidos, porque el ser opaco previene que la luz penetre los objetos.

Operating Margin (Margen de operación): El radio de señal eléctrica disponible en un rango de sensibilidad dado, al mínimo de señal requerida para operar el amplificador y la salida.

Operation Mode (Modos de operación): Operación con Luz y operación oscura.

Photoelectric Control (Control fotoeléctrico): Dispositivo electrónico que reconoce los cambios de intensidad de luz y los convierte en cambios de una salida.

Polarized Beam Retroreflective Control (Control de haz polarizado retroreflectivo): Es un control que utiliza una luz visible, filtros polarizados y un reflector prismático para evitar señales de superficies brillantes.

Pulse (Pulso): Un repentino cambio de una corriente normalmente ó relativamente lento cambio de voltaje, corriente ó intensidad de luz.

Response Time (Tiempo de respuesta): La sumatoria del tiempo necesario para que un lazo de un circuito electrónico traslade un cambio de luz en un cambio de estado de una salida.

Retroreflective Mode operation (Modo de operación retroreflectiva): Un modo de detección donde un reflector prismático es usado para asegurar que la luz reflejada es enviada directamente a su fuente de luz.

Reverse Polarity Protección (Protección de polaridad reversa): Un circuito que utiliza un diodo para prevenir daño en el control en caso de que la polaridad de la fuente de poder sea accidentalmente invertida.

Ripple % (Porcentaje de rizado): El porcentaje de componentes alternos que dejan una señal DC después de rectificarla, medida pico a pico del valor del componente alterno comparado con el valor de la señal DC.

Rise time (Tiempo de subida): Tiempo requerido para un voltaje análogo o valor de corriente de salida para subir del 10% de su valor máximo al 90 % de su valor máximo.

Scanner: Dispositivo fotoeléctrico que contiene una fuente de luz y un detector en el mismo aparato.

Self Contained Scanner (Scanner autocontenido): Control fotoeléctrico que contiene una fuente de luz, receptor, fuente de poder y el circuito electrónico en el mismo aparato.

Sensing Range (Rango de sensibilidad): El distancia máxima recomendada entre el sensor y el objeto (objetivo) en cual el fabricante garantiza todas las características publicadas.

Spectral Response (Respuesta espectral): Define todas las longitudes de onda en el que el foto detector responde.

Transmitted Beam (Rayo ó Haz transmitido): A modo de detección donde la fuente de luz y el receptor están opuestos uno al otro donde el producto interrumpe el rayo.

White Paper Response (Respuesta de papel blanco): Procedimiento de calibración ejecutado sobre controles retroreflectivos para eliminar la respuesta al papel blanco con 90% reflectancia.

3.1.2.4. Consideraciones para la selección de sensores fotoeléctricos

El exitoso uso de sensores foto eléctricos requiere que el objeto a ser detectado provoque un suficiente cambio en los niveles de luz en el sensor y que el usuario tenga una clara definición de que se pretende hacer con el sensor.

Antes de seleccionar un sensor que es correcto para cierta aplicación es importante determinar “Qué necesidades deben cumplirse” y “Cuáles son las limitaciones que existen”.

Debe estar preparado para responder las siguientes preguntas:

- ¿Cuál es el tamaño, forma y opacidad del objeto a ser detectado?
- ¿El objeto tiene propiedades reflectivas?

- ¿Cuál es el tiempo de respuesta requerido para la aplicación?
- ¿Qué configuración de montaje es requerida para el sensor, hay restricciones físicas y/o posicionales?
- ¿Cuál es la frecuencia de operación y que requerimientos se requieren a la salida del dispositivo?
- ¿Cuáles son los requerimientos de la carga (voltaje, corriente, impedancia de la carga, etc.) a ser usado con el sensor fotoeléctrico?
- ¿Qué fuente de voltaje y corriente esta disponible para operar con el sensor?
- ¿Cuál es la temperatura ambiente del lugar donde trabajará el sensor fotoeléctrico?
- ¿Hay otras condiciones ambientales a las (polvo, humedad) a las que estará expuesto el sensor fotoeléctrico?

En la selección del sensor fotoeléctrico se puede seleccionar de un gran número de métodos ópticos y niveles de sensibilidad para obtener los resultados deseados.

3.1.2.5. Características y parámetros

Especificaciones de los sensores ópticos

- Operación Luz / oscura
- Sensibilidad
- Margen de operación
- Tiempo de respuesta
- Diferencial de Histéresis
- Alineación
- Haz transmitido o haz atravesado
- Retroreflectiva o reflectiva polarizado

- Difuso

Salidas de sensores

- Relés electromecánicos
- Transistores FET
- Transistores Mosfet
- Triac
- Salidas NPN y PNP
- Salidas análogas

3.1.3. Medidores de flujo (rotarometros)

Este medidor tiene una válvula de entrada por la que atraviesa el flujo de gas, creando el movimiento de un elemento móvil, denominado flotador, el flujo se oscilante, dicha oscilación se reflejara en el movimiento de subida y bajada.

No tiene ninguna conexión eléctrica, únicamente su función es monitorear el flujo.

Figura 33. Rotarometro de vinil



Fuente: *Catálogo de Medidores de flujo Asahi-America*
www.asahi-america.com

3.1.4. Control Lógico Programable (PLC)

3.1.4.1. Definición

Dispositivo electrónico que tiene entradas y salidas, que se activan de acuerdo a los estados de las entradas en función de un algoritmo de control almacenado en la memoria del PLC.

Es un dispositivo electrónico utilizado para automatizar procesos industriales, la lógica de control, la coordinación, monitoreo y supervisión de estos procesos industriales, lo realiza el dispositivo electrónico (hardware) juntamente con una secuencia lógica de programación específica para la aplicación (software).

Las principales ventajas de los PLC son las siguientes:

Confiabilidad: trabaja de forma independiente, bajo condiciones ambientales anormales.

Flexibilidad: Los programas se pueden modificar y mejorar continuamente.

Modularidad: si hay necesidad de expansión se puede agregar diferentes módulos.

Estandarización: su programación es similar para cualquier PLC.

Espacio: Son unidades pequeñas, permitiendo su instalación en los lugares mas convenientes.

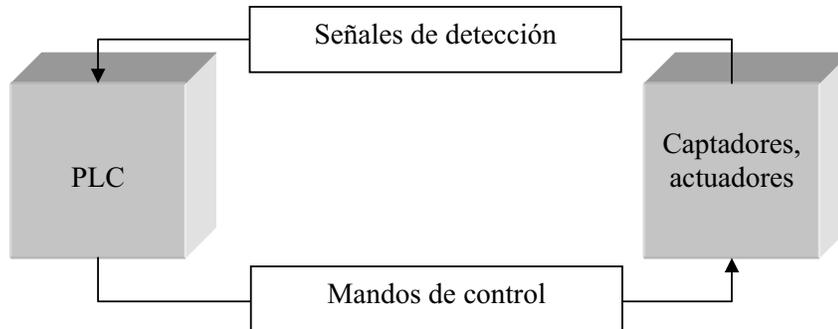
Las principales desventajas de los PLC son las siguientes:

Costo: La inversión inicial es alta, pero casi siempre son proyectos que su tiempo de recuperación son a mediano plazo.

Velocidad de operación: Los procesos pueden volverse lentos cuando la cantidad de datos a procesar son muy grandes.

3.1.4.2. Teoría de operación

Figura 34. Diagrama de bloques de un PLC



Los datos que recibe el PLC provienen de elementos captadores, estos son procesados por el PLC, este genera instrucciones para los actuadores.

Los elementos captadores, recolectan la información de entrada y la convierte a señales eléctricas, estos elementos pueden ser sensores, botones.

Los actuadores, reciben las señales eléctricas del PLC y las transforman en magnitudes físicas mediante una aportación de potencia, entre ellos se tienen, motores, relevadores, señales, válvulas, etc.

Principio de operación

Utilizan un proceso binario que es capaz de interpretar una serie de códigos o instrucciones, que definen las acciones a realizar, la unidad central, es un microprocesador que lee una instrucción a la vez, pero a alta velocidad, de una forma secuencial.

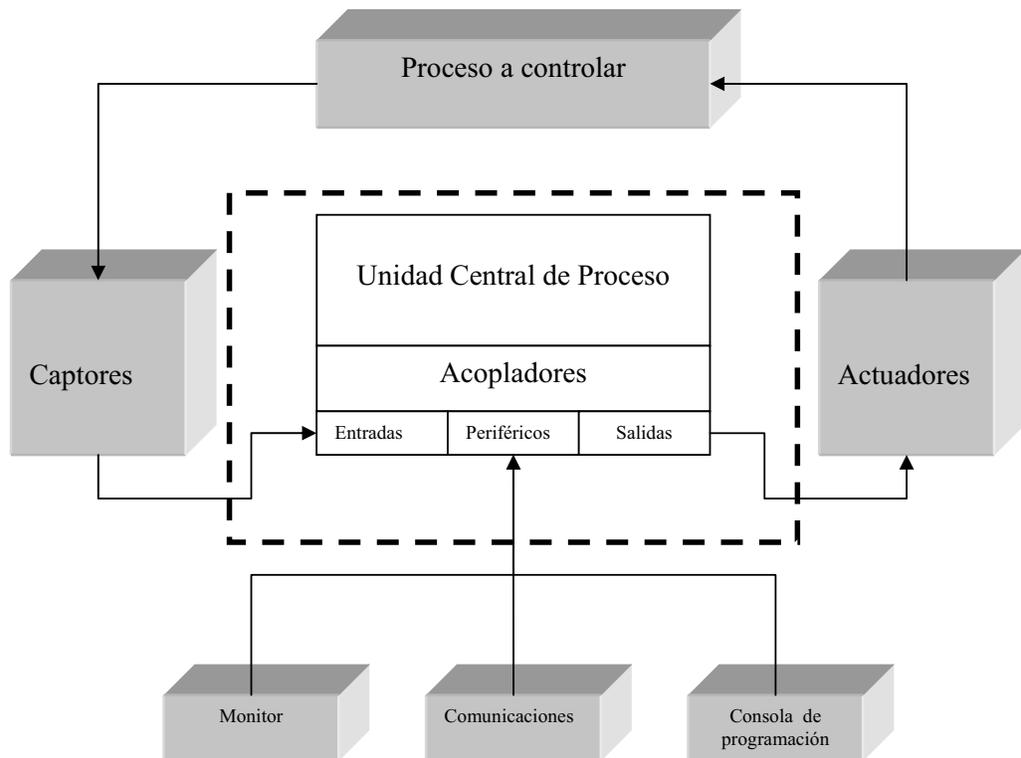
Los estados de las entradas y salidas se almacenan en una tabla de entradas y salidas.

El programa se almacena en la memoria de programa, el resultado de la ejecución de las instrucciones se almacena en la memoria temporal.

Cuando ha finalizado la ejecución del programa, se actualizan las entradas y salidas, y se repite el programa cíclicamente.

3.1.4.3. Esquema de un PLC

Figura 35. Esquema completo de un PLC



Unidad Central de procesos

Está formado básicamente por el microprocesador y la unidad de memoria, realiza la tarea de control por medio de la ejecución de programas internos, con datos que obtiene de las entradas generando las salidas deseadas.

Puede realizar las siguientes operaciones

- Lógicas
- Aritméticas
- Control y transferencia de información

3.1.4.4. Tipos de memoria de lo de un PLC

RAM (*random access memory*)

Memoria de acceso aleatorio de lectura y escritura, esta información desaparece al perder la alimentación.

ROM (*read only memory*)

Memoria de solo lectura, su contenido de fabricación es permanente y no desaparece con la alimentación.

PROM (*programmable read only memory*)

Memoria de lectura programable, después de grabada la información ya no se puede modificar o borrar.

EPROM (*Erasable programmable only memory*)

Memoria de lectura programable y borrable, después de grabada la información se puede borrar con la exposición de luz ultravioleta.

EEPROM (*Electrical Erasable programmable only memory*)

Memoria de lectura programable y borrable eléctricamente, después de grabada la información se puede borrar de forma eléctrica y la velocidad de acceso es mucho mas rápida que la memoria RAM.

Funciones de los tipos de memorias

El Firmware y memoria del sistema utilizan las memorias de variables temporales RAM, y Eprom, Prom, Rom

Las tablas de datos utilizan, para las memorias de entradas y salidas la memoria RAM o Eeprom

Las instrucciones del programa, utilizan la memoria RAM o Eeprom.

3.1.4.5. Entradas y salidas de los PLC

Los PLC's tienen un conjunto de módulos, que convierten las señales de los elementos captadores y actuadores a señales con niveles de tensión que el PLC puede interpretar.

Según el tipo de señales que manejan se dividen en

- Entradas y salidas discretas
- Entradas y salidas analógicas

Entradas y salidas discretas

También se conocen como señales todo o nada, destinadas para la captación o generación de señales de dos estados energizado y desenergizado, con corriente alterna o continua.

Las entradas discretas son fácilmente identificables en los PLC, numeración de entradas, además la identificación lumínica que muestra su estado actual.

En cuanto a la tensión estas entradas pueden ser:

- Libres de tensión
- Corriente continua
- Corriente alterna

Las salidas discretas

Estas señales decodifican las señales provenientes del PLC. Las amplifican y controlan, las salidas de los actuadores, por ejemplo podemos mencionar motores, relevadores, lámparas, alarmas, electro válvulas.

Tiene un circuito de aislamiento eléctrico, separando la etapa de potencia y los circuitos internos del PLC.

Las señales de salida se pueden clasificar de acuerdo a la intensidad requerida.

Salidas de transistores: son de baja potencia y controla únicamente señales DC.

Salidas de relevadores: son de baja potencia y controlan señales de AC y DC.

Salidas de Triacs: diseñadas para el control de señales AC de mediana potencia hasta 12 amperios.

Entradas y salidas analógicas

Se caracterizan por utilizar más de dos estados

Entradas analógicas

Son módulos de conversión de magnitudes analógicas corriente y tensión, provenientes de señales de magnitudes físicas como, presión, caudal, temperatura. Esta operación se realiza por medio de convertidores AD (analógico digital), la señal analógica se convierte a un código binario digital, de 8, 12, 16 ó 32 bits.

Salidas analógicas

Las señales digitales de datos son convertidos a valores de corriente o voltaje, las señales de salida se encuentran agrupadas por canales con borneras para voltaje y corriente, cada uno de ellos posee su propio conversor digital analógico.

Los rangos usuales de trabajo de las salidas analógicas son de 0-5v, 0-10v,-10+10v, y de 4-20mA.

3.1.4.6. Lenguaje para el control

La lógica de un proceso secuencial para un proceso automatizado utiliza como base un diagrama lógico de escalera, esta compuesto por una línea vertical (de alimentación) en cada extremo, cada uno de los componentes se coloca en medio de estas líneas, de allí el nombre de escalera (*Ladder*), y son utilizados universalmente en las industrias.

Los PLC's se programan con lenguajes de instrucciones tipo booleanas lenguajes mnemónicos

Estos lenguajes constan de instrucciones de ingreso codificadas como mnemónicos que abarcan tres palabras estandarizadas, AND, OR, NOT, y las instrucciones de salida de codificación mnemónica, estas pueden ser instrucciones para un relevador, un cronometro, un contador o una instrucción aritmética. Algunas de las salidas requieren un acrónimo para completar el operando como TIM, CNT, HR, Las instrucciones mnemónicas se ingresan en la memoria del PLC y cada instrucción es seguida usualmente por una etiqueta de operando, la cual contiene la palabra y el bit dentro de esa palabra.

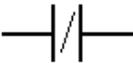
Secuencia para la creación de un diagrama lógico de escalera

- Analizar el diseño
- Hacer la representación del diseño, incluyendo todos los componentes.
- Determinar la secuencia de las operaciones
- Describir verbalmente cada secuencia de operación, y determinar la secuencia.
- Dibujar diagrama lógico de escalera
- Comprobación del funcionamiento
- Hay que comprobar que cada estado de salida sea el requerido de lo contrario hay que corregir y analizar el diseño nuevamente.

3.1.4.7. Programación en escalera

Es una representación de la secuencia de las operaciones eléctricas, estas instrucciones representan la interconexión de dispositivos de campo que tienen características similares y que son activados por una secuencia de eventos.

Tabla X. Instrucciones básicas de programación en escalera (*Ladder*).

Símbolo	Nombre	Descripción
	Contacto NA	Se activa cuando hay un uno lógico en el elemento que representa, esto es, una entrada (para captar información del proceso a controlar), una variable interna o un bit de sistema.
	Contacto NC	Su función es similar al contacto NA anterior, pero en este caso se activa cuando hay un cero lógico, cosa que deberá de tenerse muy en cuenta a la hora de su utilización.
	Bobina NA	Se activa cuando la combinación que hay a su entrada (izquierda) da un uno lógico. Su activación equivale a decir que tiene un uno lógico. Suele representar elementos de salida, aunque a veces puede hacer el papel de variable interna.
	Bobina NC	Se activa cuando la combinación que hay a su entrada (izquierda) da un cero lógico. Su activación equivale a decir que tiene un cero lógico. Su comportamiento es complementario al de la bobina NA.
	Bobina SET	Una vez activa (puesta a 1) no se puede desactivar (puesta a 0) si no es por su correspondiente bobina en RESET. Sirve para memorizar bits y usada junto con la bobina RESET dan una enorme potencia en la programación.
	Bobina RESET	Permite desactivar una bobina SET previamente activada.
	Bobina JUMP	Permite saltarse instrucciones del programa e ir directamente a la etiqueta que se desee. Sirve para realizar subprogramas.

Esquema estructural de un programa *ladder*

Su orden de ejecución es de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha primero los contactos y luego las bobinas.

Otro tipo de elementos básicos que integran un diagrama en escalera son los que se mencionan a continuación.

Temporizador: su función principal es la conexión y desconexión instantánea después de un tiempo programado.

Contador: Encargado de llevar el conteo de proceso o ciclos de trabajo, puede ser ascendente ó descendente.

Módulos especiales: Son aquellos que no son entradas o salidas lógicas, tales como entradas y salidas analógicas.

3.2. Diagrama y descripción de funcionamiento

3.2.1. Aplicación automática de envases

3.2.1.1. Consideraciones

El principal problema para detectar cuerpos transparentes de vidrio, especialmente cuando es color es cristalino, se corre el riesgo de no detectar los envases, por eso se considero que el punto optimo para la detección es la corona de envases, debido a que es la de mayor concentración de vidrio, las

líneas de la rosca hacen aún más gruesa la concentración de vidrio y porque su diámetro define los límites de aplicación del tratamiento.

El tiempo de operación de la electro válvula es de 40 milisegundos
 Para iniciar el análisis se estudian las velocidades límites del sistema

Tabla XI. Diámetros y velocidades de envases con características extremas.

	Diámetros		Velocidad
	Envase	Corona	Envases / min
Envase 1	111	29	9
Envase 2	90	70	81

Analizando la velocidad más baja
 $9 \text{ envases / min} * 1 \text{ min} / 60 \text{ s} = 0.15 \text{ env / s}$
 Representación gráfica del recorrido de los envases

Figura 36. Representación gráfica del recorrido de los envases

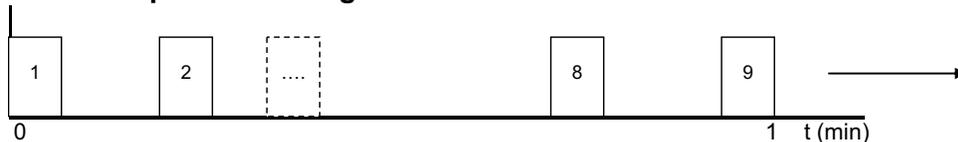


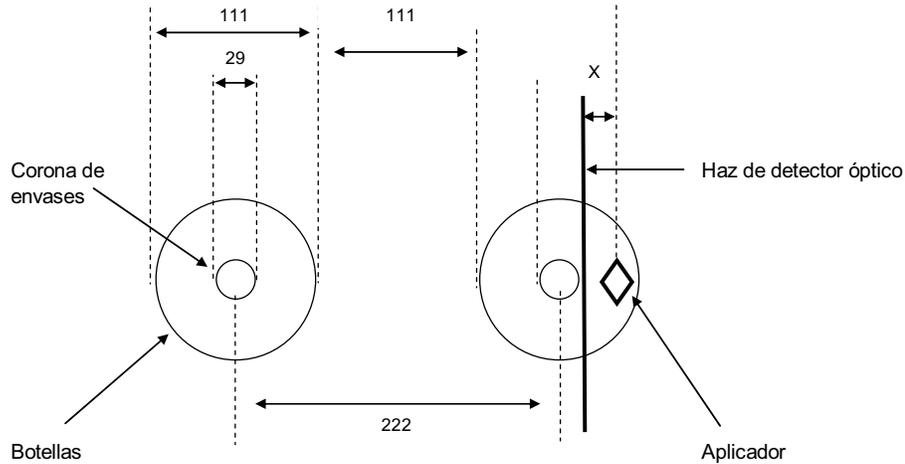
Tabla XII. Espacio recorrido por envases de características extremas.

	Cantidad	Diámetro mm	Espacio recorrido mm
Envases	9	111	999
Espacios	8	111	888
Total	17		1,887

La velocidad en mm/ segundo de cada envase se calcula de la siguiente forma:

$$V = \text{espacio total mm} / \text{tiempo s} = 1,887 / 60 = 31.45 \text{ mm / s}$$

Figura 37. Representación de los espacios entre el detector y el aplicador del tratamiento



- Todas las distancias están dadas en milímetros

La distancia X, será la distancia recorrida mientras electro válvula de aplicador responde a la señal de apertura, esta distancia varía de acuerdo a la velocidad del envase.

Esta distancia se calcula de la siguiente forma:

$$X = \text{velocidad envase} / \text{tiempo de apertura de electro válvula}$$

Tiempo de apertura igual a 40 milisegundos = 0.04 segundos

$$X = 31.45 \text{ mm} / \text{s} * 0.40 \text{ s} = 1.258 \text{ mm}$$

El tiempo que dura la aplicación es el siguiente

$$T = \text{Diámetro de corona mm} / \text{Velocidad envase mm/s}$$

$$T = 29 \text{ mm} / 31.45 \text{ mm/s} = 0.92 \text{ seg}$$

El principal objetivo del proyecto, es que el gas se aplique únicamente en la parte interna del envase, esto se logra por medio de la interrupción del haz de luz, generada por los sensores e interrumpida por la corona de los envases, el punto a controlar específicamente es la aplicación en los espacios que hay entre cada corona de cada envase, que es donde se presenta la mayor pérdida de gas, a este tiempo lo denominaremos tiempo muerto.

El tiempo muerto se calcula de la siguiente forma:

$$TM = \frac{\text{diámetro del envase} * 2 + (\text{diámetro corona} / 2)}{\text{Velocidad del envase}}$$

$$TM = (222 + 29/2) / (31.45) = 7.52 \text{ s}$$

Figura 38. Representación de tiempos

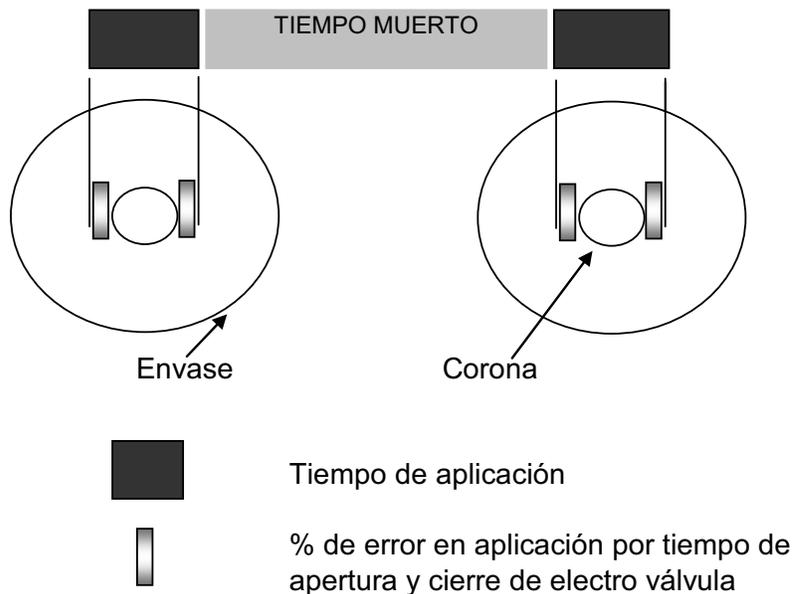


Figura 39. Diagrama de tiempos de aplicación

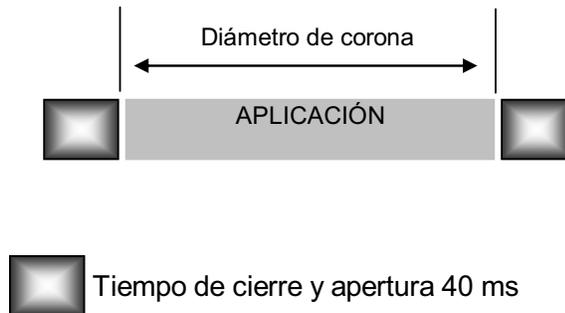


Tabla XIII. Tabla de resultados de envases con características extremas

	Díametros mm		Velocidad	Tiempos seg		Distancia mm
	Envase	Corona	Envase / min	Aplicación	Muerto	X
Envase1	111	29	9	0.92	7.52	1.26
Envase2	90	70	81	0.29	0.89	9.66

Los resultados anteriores nos indican el rango de ajuste que deberá tener el aplicador de gas, este varía inversamente con la velocidad del envase.

3.2.1.2. Sistema de aplicación automática

Debido al retardo en el funcionamiento de la electro válvula, el aplicador se colocara a una distancia X, (calculada anteriormente) para que tenga el tiempo suficiente para iniciar la operación. Según se observo en los cálculos con las pruebas extremas esta distancia puede ser de 1 a 9 mm, dependiendo la velocidad del envase en la línea de producción.

La detección de los envases es realizada por sensores ópticos, colocado a la altura de la corona del envase, estos sensores emiten la orden de arranque y paro de la aplicación, debido al retardo por la apertura y cierre de las electro válvulas, el cierre de la aplicación de retarda 40 milisegundos adicionales a los

que tarda en cerrar, esto para asegurar la aplicación mientras el envase atraviesa el haz de luz.

El sistema esta conformado por tres bloques, que a continuación se describen.

a) Activación por flancos

Este bloque envía la señal cuando el envase atraviesa la zona de detección, un pulso para el inicio y otro pulso para el final.

b) Temporizador a impulso prolongado

Es el encargado de accionar la electro válvula mientras el envase esta atravesando el área de detección.

Utiliza la señal del flanco de subida, y mantendrá la señal hasta un tiempo máximo de 10 segundos. Esta señal estará activa hasta que se active el control reset del timer.

c) Impulso retardado

Esta señal atrasa 40 milisegundos el cierre de la electro válvula, cuando el envase ya ha atravesado la zona de detección, esto se hace para compensar la distancia X (distancia de ajustes del aplicador), y asegurar la aplicación en todo el envase.

Esta señal se envía al control de reset del temporizador a impulso prolongado, cortando el flujo de gas.

Figura 40. Diagrama de tiempos de aplicación automática

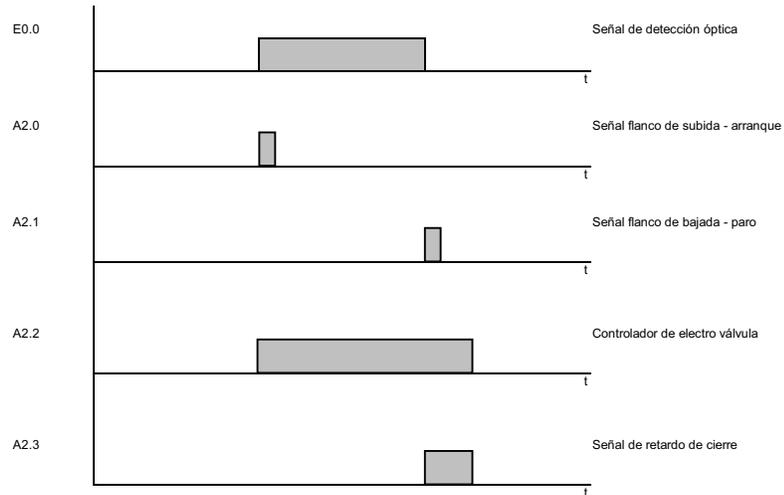


Figura 41. Diagrama en escalera de aplicación automática

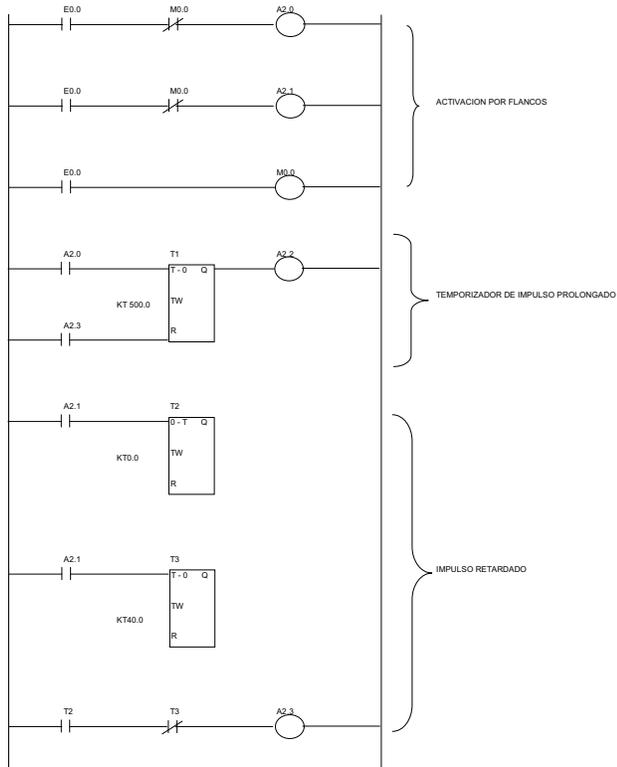


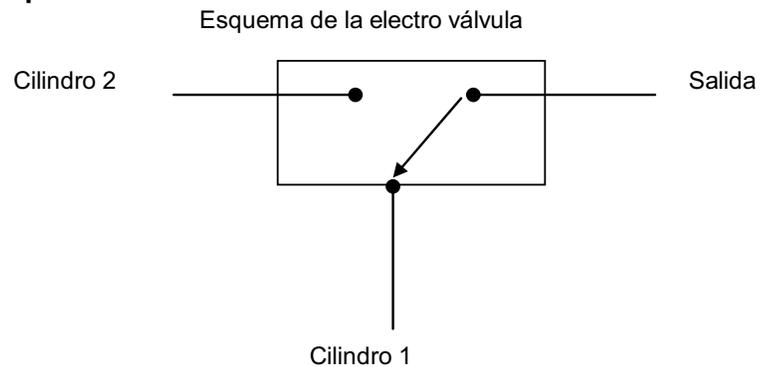
Tabla XIV. Variables de aplicación automática

Aplicación automática	
E0.0	Señal de detección óptica
A2.0	Señal flanco de subida - arranque
A2.1	Señal flanco de bajada - paro
A2.2	Controlador de electro válvula
A2.3	Señal de retardo de cierre
M0.0	Memoria de flancos
T1	Temporizador a impulso prolongado, control cierre de electro válvula
T2	Temporizador a impulso prolongado, control cierre de electro válvula
T3	Temporizador a impulso prolongado, control cierre de electro válvula

3.2.2. Cambio automático de cilindros de gas

El componente principal para realizar el cambio automático es la electro válvula de 2 entradas una salida, el tiempo estándar requerido para el cambio es de 40 milisegundos.

Figura 42. Esquema de electro válvula



La presión de gas de cada cilindro es detectada con interruptores de presión, la electro válvula es normalmente cerrada, y mantiene conectado el cilindro 1 a la salida, en el momento de que se agota el gas del cilindro 1, hace el cambio automático del cilindro 2.

El comportamiento de la electro válvula es definido por la siguiente tabla.

Interruptor de cilindro 1 = A

Interruptor de cilindro 2 = B

Control de electro válvula = C

Tabla XV. Tabla de verdad del sistema de cambio automático de cilindros de gas

A	B	C	Evento
1	1	0	Existencia de gas en ambos cilindros
0	1	1	Ausencia de gas, cilindro 1
0	0	0	Ausencia de ambos cilindros de gas
1	0	0	Ausencia de gas, cilindro 2

Convirtiendo la tabla de verdad a una expresión lógica se obtiene el siguiente resultado:

$$F(C) = A' * B$$

Figura 43. Diagrama en escalera de cambio automático de cilindros

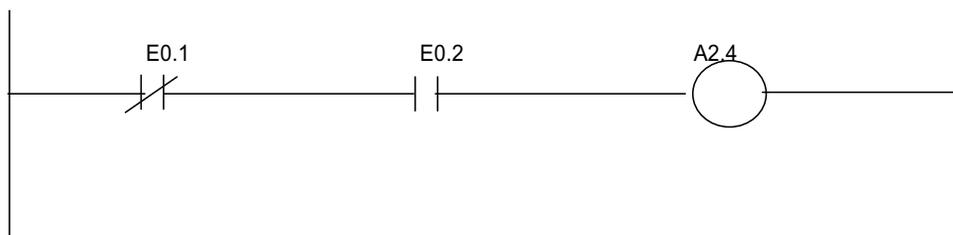


Tabla XVI. Variables de cambio automático de cilindros de gas

Cambio automático de cilindros de gas	
E0.1	Señal de detección interruptor de presión cilindro 1
E0.2	Señal de detección interruptor de presión cilindro 2
A2.4	Controlador de electro válvula

3.2.3. Alarma de flujo

3.2.3.1. Consideraciones

El sistema puede generar las señales correctas de control, pero los dispositivos de mando pueden que no siempre funcionen correctamente.

Esto trae como consecuencia problemas de mala aplicación, y podrían generar problemas en el producto final a envasar, y pérdida de envases y gas Ball It. Por lo que se monitorea la operación de cada electro válvula.

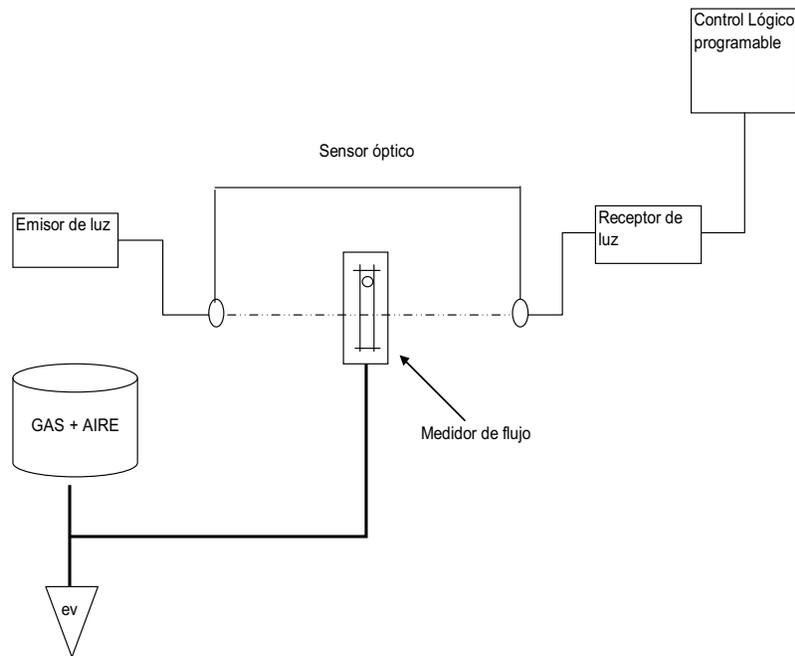
La detección del flujo es posible con el uso de dos dispositivos:

Medidor de flujo (dispositivo mecánico)

Sensor óptico (dispositivo electrónico)

El medidor de flujo es un dispositivo de material acrílico o vidrio, tiene en su interior un balancín que reacciona cuando hay flujo de gas. El movimiento del balancín es detectado por el sensor óptico, y este envía la señal al control lógico programable.

Figura 44. Esquema de sistema de la alarma de flujo



3.2.3.2. Sistema de alarma de flujo

La llave inicial para arrancar el proceso, es que exista circulación de envases si no hay el sistema no activa la alarma. La lógica de funcionamiento para este control es la siguiente:

El control funciona si hay envases circulando.

La alarma se activa con la detección de envases con un tiempo de retardo "T".

Si hay señal de flujo, el tiempo T se reinicia, y no se activa la alarma

Si no hay señal de flujo, el tiempo T continua y se activa la alarma.

El sistema es formado por tres bloques

a) Autorretención

Un circuito de autorretención es el encargado de activar el sistema de alarma de flujo, utilizando la señal de flanco de subida.

b) Temporizador con retardo a la activación con memoria set y reset

La señal de paro es activada 5 segundos después del último flanco de bajada.

c) Temporizador con retardo a la activación

Una vez activado el sistema, se activa la alarma con un tiempo de retardo "T", igual a 10 segundos, si durante este tiempo no hay señal de flujo se activa la alarma, pero si hay flujo el conteo se reinicia.

Figura 45. Diagrama de tiempos de la alarma de flujo

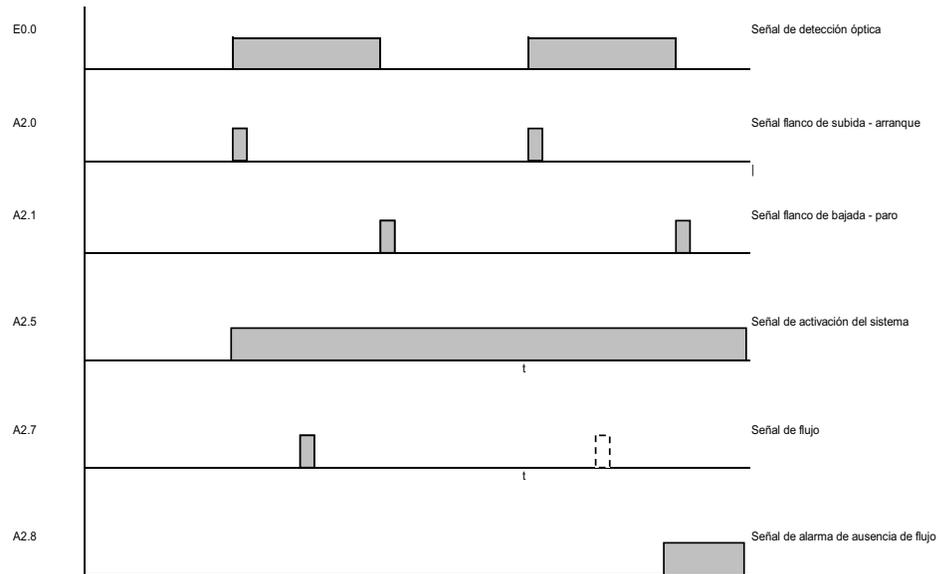


Figura 46. Diagrama en escalera del sistema de alarma de flujo

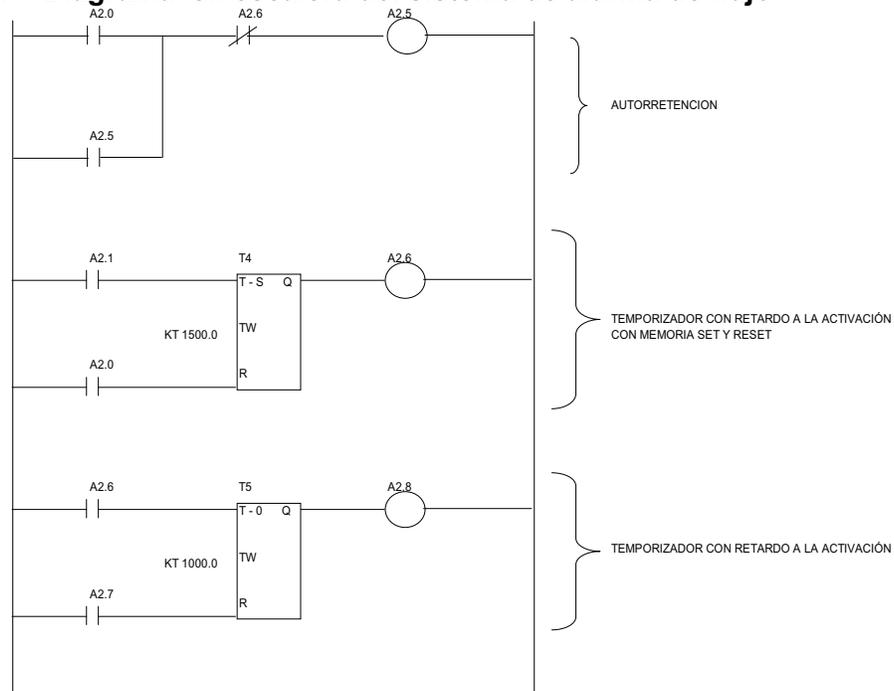


Tabla XVII. Variables del sistema de Alarma de flujo

Alarma de flujo	
E0.0	Señal de detección óptica
A2.0	Señal flanco de subida - arranque
A2.1	Señal flanco de bajada - paro
A2.5	Arranque de sistema
A2.6	Paro arranque de sistema
A2.7	Señal de flujo de flujo
A2.8	Señal de alarma de flujo
T4	Temporizador con retardo a la activación, con memoria set y reset
T5	Temporizador con retardo a la activación

3.2.4. Alarma de detección de envases

3.2.4.1. Consideraciones

La detección de los envases es el punto inicial para la aplicación, si se llegara a dañar la fibra óptica o el sensor no notaríamos la falla, debido a que si no hay señal de detección el sistema no se activa. Por lo que se colocaron sensores paralelos de envases con el fin de obtener la misma señal, el primer sensor activa la aplicación y la segunda confirma que el proceso de detección esta funcionando correctamente.

Comparar 2 señales es sumamente difícil, ya que debería ser idénticas y las la ubicación que cambia aproximadamente 3mm de altura, y las desviaciones de las coronas especialmente cuando son de rosca, la variación sería mucha, por lo que se implemento el uso de los flancos se cada señal.

El temporizador T6, activara una señal de alarma con un retardo de 5 segundos, la señal que activa la alarma es la del frente de bajada del sensor óptico secundario, y la que señal que reinicia el temporizador es la señal del sensor óptico principal.

Figura 47. Diagrama de tiempos alarma de detección de envases

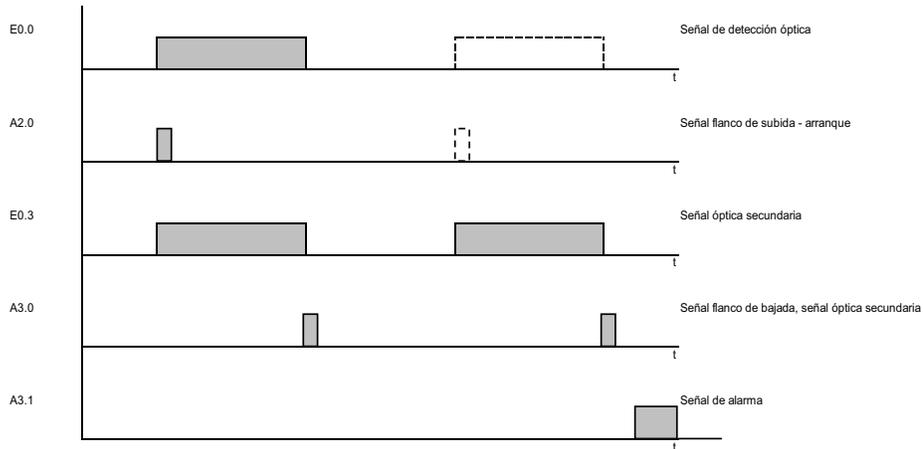


Figura 48. Diagrama en escalera de alarma de detección de envases

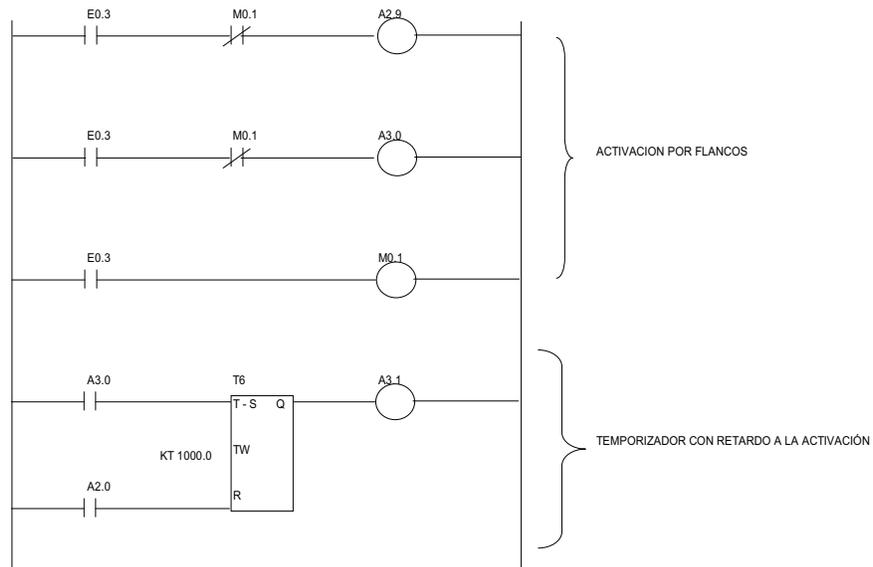


Tabla XVIII. Variables del sistema de alarma de detección de envases

Alarma de detección de envases	
E0.0	Señal de detección óptica
A2.0	Señal flanco de subida - arranque
E0.3	Señal de detección óptica secundaria
A2.9	Señal flanco de subida señal optica de secundaria
A3.0	Señal flanco de bajada señal optica de secundaria
M0.1	Memoria de flancos señal optica secundaria
T6	Temporizador con retardo a la activación, con memoria set y reset
A3.1	Señal de alarma por detección de envases

3.2.5. Alarma de ausencia de gases

Una de las condiciones más críticas del sistema es la ausencia de los gases, ambos gases son importantes, el aire a presión por ser el medio de transporte y el Ball It, por ser el tratamiento requerido. Por su importancia se considera condición crítica la ausencia de cualquier gas, analizando cada una de los posibles estados de cada uno los gases, se puede determinar la tabla de verdad para hacer una expresión lógica para la activación de una alarma que indique este estado.

La presión de gas de cada cilindro es detectada con interruptores de presión, con una presión mínimo igual al 5% del valor de la presión máxima de cada cilindro.

En el caso del aire a presión, el valor mínimo es 0.15 bares, presión mínimo para la aplicación del tratamiento.

El comportamiento de la electro válvula es definido por la siguiente tabla.

Interruptor de cilindro 1 = D

Interruptor de cilindro 2 = E

Interruptor de aire = F

Alarma de ausencia de gas = G

Tabla XIX. Tabla de verdad de sistema de alarma de ausencia de gases

D	E	F	G	Evento
0	0	0	1	Condición crítica
0	0	1	1	Condición crítica
0	1	0	1	Condición crítica
0	1	1	0	Condición normal
1	0	0	1	Condición crítica
1	0	1	0	Condición normal
1	1	0	1	Condición crítica
1	1	1	0	Condición normal

Convirtiendo la tabla de verdad a una expresión lógica se obtiene el siguiente resultado

$$F(G) = D'E'F' + D'E'F + D'E'F' + D'E'F' + D'E'F'$$

$$F(G) = D'E' + D'E'F' + D'F'$$

Figura 49. Diagrama en escalera sistema de alarma de ausencia de gases

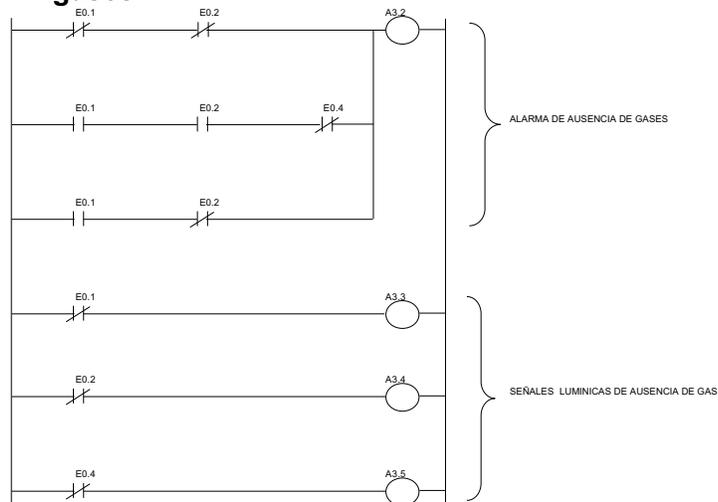


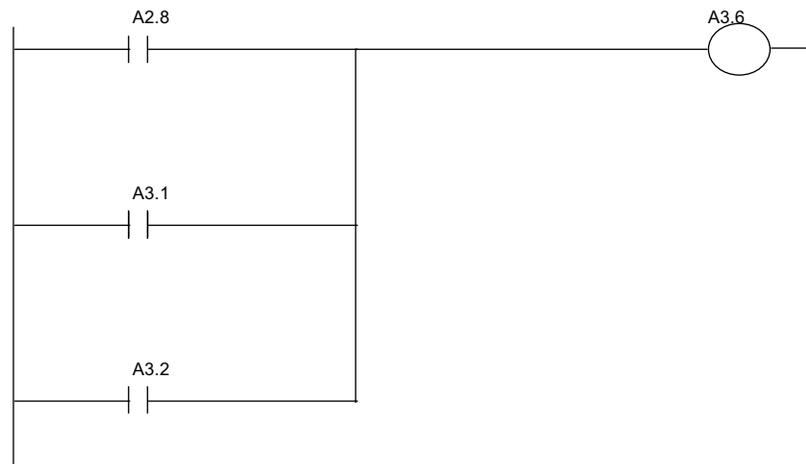
Tabla XX. Variables de sistema de alarma de ausencia de gases

Alarma de ausencia de gases	
E0.1	Señal de detección interruptor de presión cilindro 1
E0.2	Señal de detección interruptor de presión cilindro 2
E0.4	Señal de detección interruptor de presión de aire
A3.2	Señal de alarma de ausencia de gases
A3.3	Señal de lumínica de ausencia de gas cilindro 1
A3.4	Señal de lumínica de ausencia de gas cilindro 2
A3.5	Señal de lumínica de ausencia de aire

3.2.6. Sistema de rechazo de envases

El rechazo de los envases se ejecuta cuando cualquiera de alarmas es activada, esto se hace con el objetivo de eliminar cualquier envase que no lleve el tratamiento aplicado, el rechazo de envases dura el tiempo que este activa la alarma o hasta que se desenergize el sistema.

Figura 50. Diagrama en escalera del sistema de rechazo de envases



La válvula de rechazo es un sistema existente en el proceso de control de calidad de la fabricación del vidrio, como parte de la mejora la válvula de rechazo se coloca inmediatamente después del punto de aplicación de gas.

3.3. Especificaciones de dispositivos

3.3.1. Aspectos generales

Los aspectos principales para la selección de dispositivos determinados por las condiciones ambientales de operación.

- Temperatura de operación, más de 60 grados centígrados
- Temperatura de operación, detector óptico, 315 grados centígrados
- Voltaje de operación, 110 voltios AC
- Nivel alto de contaminación por polvo
- Nivel Alto de vibración

Electro válvulas

Sistema: Aplicación de tratamiento y cambio de cilindros de gas

Tipo de fluido: Gas

Tipo de gas: No corrosivo

Tiempo de respuesta: 40 milisegundos máximo

Conexión: Normalmente cerrada

Rango de presión de operación: 0 a 95 bares

Sistema: Rechazo de envases

Tipo de fluido: Gas

Tipo de gas: No corrosivo

Tiempo de respuesta: 40 milisegundos,

Conexión: Normalmente cerrada

Rango de presión de operación: 0 a 95 bares

Interruptores de presión

Rango de operación desde 30 pulgadas de mercurio hasta 375 psi

Ajuste diferencial: 2 a 125 psi

Presión máxima: hasta 1300 psi

Fluido: gas no corrosivo

Contactos: polo simple, doble tiro, presión positiva

Voltaje de contactos: 110 voltios AC

Temperatura de operación: -30 a 93 grados centígrados

Control lógico programable

Capacidad de programación: 1012 pasos

Tiempo de procesamiento: 400 microsegundos

Réles internos: 232

Registros de datos: 500 puntos

Timer 80 puntos

Comunicaciones: Puerto serial RS232

Instrucciones: 22 básicas, 35 avanzadas

Entradas y salidas: 148 entradas, 14 salidas relé

Voltaje de operación: 120 voltios AC

Resistencia alta a la humedad y vibración

Medidores de flujo (rotarometro)

Tubo acrílico

Escala 150 mm

Temperatura 93 grados centígrados máximo

Presión máxima 35 bares

Sensor óptico para medidor de flujo

Temperatura máxima hasta 73 grados centígrados

Voltaje de alimentación 120 voltios AC

Luces de panel

Voltaje 120 voltios AC

Colores: verde y rojo

Alarma sonora con luz indicadora

Voltaje 120 voltios AC

Color de luz indicadora: rojo

3.4. Especificaciones del sistema

- Control automático
- Velocidad máxima de operación 80 envases por minuto
- Comunicación remota
- Sistema de alarmas y monitoreo
- Cambio automático de cilindros de gas
- Sistema de rechazo de envases en caso de fallas
- Aplicación controlada de gas
- Voltaje de alimentación 120 voltios AC
- Compatible con el sistema central de control

3.5. Montaje del sistema

Figura 51. Ubicación física del sistema de aplicación de gas

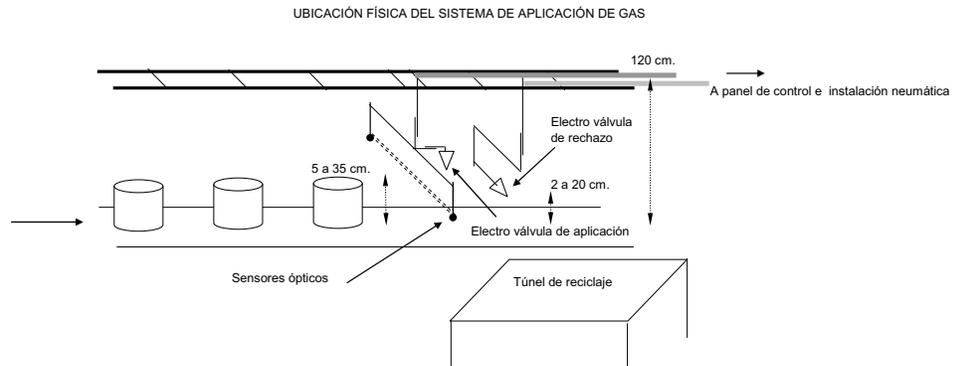


Figura 52. Vista de planta del sistema

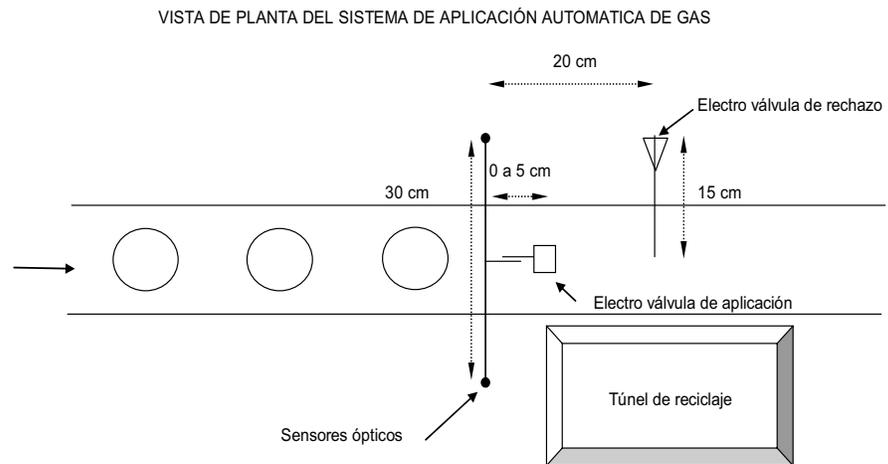


Figura 53. Esquema general del sistema

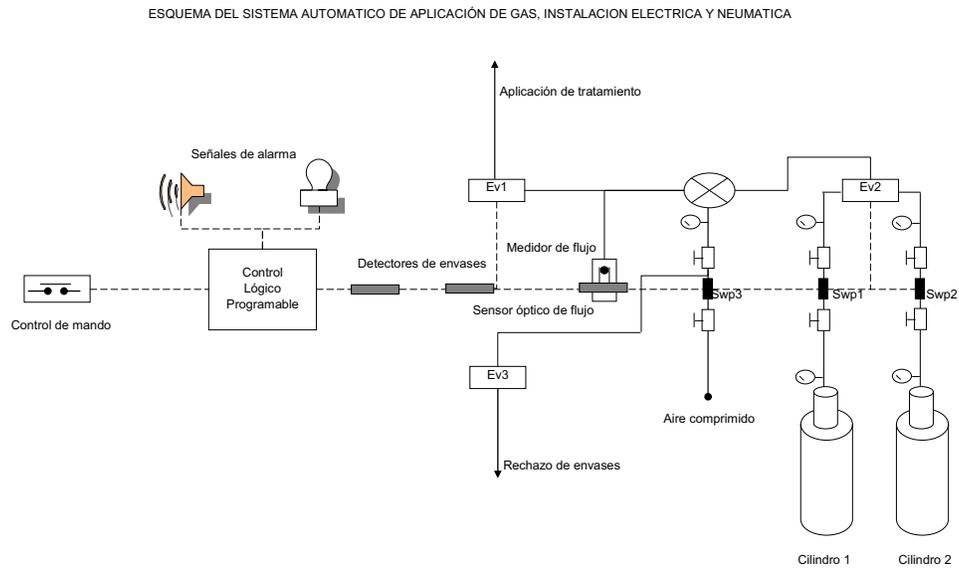


Tabla XXI. Simbología

Simbología	
Interruptores de presión Swp	■
Sensores ópticos	▬
Reguladores de presión	⊏
Manómetros	⊖
Electro válvulas	Ev
Unión Y	⊗
Instalación de gas	—
Instalación eléctrica	- - -

3.6. Cronograma de implementación del sistema

Tabla XXII. Cronograma de implementación del sistema

CRONOGRAMA DE IMPLEMENTACION

ACTIVIDAD	SEMANA					
	1	2	3	4	5	6
COTIZACIÓN MATERIALES Y EQUIPO						
COMPRA DE MATERIALES Y EQUIPO						
ELABORACIÓN DE CIRCUITO ELÉCTRICO						
INSTALACIÓN MECÁNICA						
INSTALACIÓN NEUMÁTICA						
PROGRAMACION DE PLC						
AJUSTE Y PRUEBAS						
INSTALACIÓN ELÉCTRICA						
PUESTA EN MARCHA						

4. COSTOS Y ANÁLISIS ECONÓMICO

4.1. Costos del sistema automatizado

Tabla XXIII Costos del sistema automatizado

Costo de equipo electrónico			
Cantidad	Descripción	Precio Unitario	Subtotal
1	PLC Allen Bradley Micrologix 1200	\$492.00	\$492.00
1	Cable RS - 232	\$71.00	\$71.00
1	Modulo de programación	\$370.00	\$370.00
1	Riel DIN	\$4.52	\$4.52
1	Licencia software Micrologix	\$1,500.00	\$1,500.00
1	computadora personal. Sistema operativo Windows NT incluido	\$899.00	\$899.00
Costo			\$3,336.52

Costo del circuito sistema de aplicación automática de envases			
Cantidad	Descripción	Precio Unitario	Subtotal
1	Sensor óptico	\$50.00	\$50.00
1	Electro válvula NC,	\$35.00	\$35.00
6	Metros de fibra óptica doble para sensor óptico, de doble hilo	\$25.00	\$150.00
Costo			\$235.00

Costo de circuito de sistema cambio automático de cilindros de gas			
Cantidad	Descripción	Precio Unitario	Subtotal
1	Electro válvula	\$35.00	\$35.00
2	Interruptores de presión	\$40.00	\$80.00
2	Manómetros	\$15.00	\$30.00
Costo			\$145.00

Costo de circuito de sistema de alarmas y monitoreo			
Cantidad	Descripción	Precio Unitario	Subtotal
1	medidor de flujo (rotarometro)	\$35.00	\$35.00
1	Sensor óptico	\$50.00	\$50.00
1	Interruptor de presión	\$20.00	\$20.00
3	Luces de panel	\$9.00	\$27.00
1	Sirena con luz incluida	\$35.00	\$35.00
Costo			\$167.00

Costo de circuito de sistema de rechazo de envases			
Cantidad	Descripción	Precio Unitario	Subtotal
1	Electro válvula	\$35.00	\$35.00
1	Manómetro	\$15.00	\$15.00
Costo			\$50.00

Costo de circuito de control de mando			
Cantidad	Descripción	Precio Unitario	Subtotal
1	Interruptor principal	\$12.00	\$12.00
1	Luz de panel	\$9.00	\$9.00
3	Botones	\$9.00	\$27.00
Costo			\$48.00

Costo de materiales de instalaciones			
Cantidad	Descripción	Precio Unitario	Subtotal
1	Pedestal sistema aplicación automática y válvula de rechazo	\$95.00	\$95.00
1	Tablero de control	\$100.00	\$100.00
1	Instalación eléctrica	\$100.00	\$100.00
1	Instalación neumática	\$85.00	\$85.00
Costo			\$380.00

RESUMEN DE COSTOS			
Cantidad	Descripción	Precio Unitario	Subtotal
1	Costo de equipo electrónico	\$3,336.52	\$3,336.52
1	Costo del circuito sistema de aplicación automática de envases	\$235.00	\$235.00
1	Costo de circuito de sistema cambio automático de cilindros de gas	\$145.00	\$145.00
1	Costo de circuito de sistema de alarmas y monitoreo	\$167.00	\$167.00
1	Costo de circuito de sistema de rechazo de envases	\$50.00	\$50.00
1	Costo de materiales de instalaciones	\$380.00	\$380.00
1	Mano de obra	\$1,250.00	\$1,250.00
Costo			\$5,563.52

4.2. Costos de operación

Tabla XXIV. Costos de operación

Consumo de energía	Kwh.
PLC	0.2
Computadora	0.7
Electro válvulas	0.9
Dispositivos lumínicos	0.03
Dispositivos sonoros	0.03
total	1.86

Costos de energía eléctrica	US\$
Costo Kwh.	0.02
Costo de operación	0.04
Costo diario	0.89
Costo anual	325.87

4.3. Costo actual de consumo de gas vrs. Consumo esperado con el nuevo sistema

Tabla XXV. Comparación de costos a) sistema actual b) sistema propuesto

Sistema actual	
Costo del cilindro	\$595.00
Costo eficiencia 22%	\$130.90
Costo pérdidas 78%	\$464.10
Total de horas por año	2843
Cilindro utilizados por año	28.43
Costos anual cilindros	\$16,915.85
Costos anual aplicación ef. 22%	\$3,721.49
Costos anual pérdidas 78%	\$13,194.36

Sistema propuesto	
Costo del cilindro	\$595.00
Costo eficiencia 95%	\$565.25
Costo pérdidas 5%	\$29.75
Total de horas por año	625.46
Cilindro utilizados por año	6.2546
Costos anual cilindros	\$3,721.49
Costos anual aplicación ef. 95%	\$3,535.41
Costos anual pérdidas 5%	\$186.07

4.4. Análisis económico de la recuperación de la inversión

Para realizar el análisis económico es muy importante tomar en cuenta lo siguiente:

La inflación proyectada por el Banco de Guatemala

Para la aceptación de proyectos, la compañía requiere una TREMA mínima del 25%

TREMA significa tasa de retorno mínima aceptable

La inflación proyectada según el Banco de Guatemala junio 2007 es la siguiente:

Tabla XXVI. Inflación proyectada en Guatemala

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Inflación Guatemala	9.2%	8.6%	8.6%	8.6%	8.6%	8.6%	8.6%	8.6%

El análisis económico se realizó en un periodo de 3 años, es lo aconsejable para obtener un grado aceptable de certeza en las proyecciones, después de ese tiempo las variaciones pueden resultar muy significativas.

Tabla XXVII. Análisis económico del proyecto

		Análisis económico del proyecto			
		2007	2008	2009	2010
a	Inversión inicial	-\$5,763.52			
b	Costos Anual Sistema Actual		\$18,365.54	\$19,939.46	\$21,648.28
c	Costos Anual Sistema Propuesto		\$4,515.96	\$4,902.98	\$5,323.16
b - c	Flujo de ahorro anual		\$13,849.58	\$15,036.49	\$16,325.12
Flujo de efectivo del proyecto		-\$5,763.52	\$13,849.58	\$15,036.49	\$16,325.12
Tasa de Retorno Mínima Aceptable (TREMA)		25%			
Tasa Interna de Retorno (TIR)		241%			
d	Valor Actual de Ahorros Futuros (VA)	\$29,061.48			
d - a	VALOR ACTUAL NETO (VAN)	\$23,297.96			

El proyecto cumple con los requisitos financieros, y el tiempo de recuperación es a corto plazo.

5. RESULTADO ESTIMADOS

5.1. Medición de horas de uso y volumen de gas utilizado

Los registros del tiempo de uso y el volumen del gas utilizado, son controlados de acuerdo los programas de producción, asumiendo que el programa de producción sea el mismo que se utilizo para el cálculo de las eficiencias en la aplicación, los resultados esperados son los siguientes:

Tabla XXVIII Número de cilindros esperado con sistema propuesto

Sistema actual		Sistema nuevo	
Horas de uso	Cilindros de gas	Horas de uso	Cilindros de gas
2,843.00	22.74	2,843.00	5.00

5.2. Aplicación de gas por envase

La cantidad de gas depende directamente de tres variables

- a) el volumen del envase
- b) altura del envase
- c) tamaño de la corona

Para cada envase según las variables descritas anteriormente se calibra la presión manualmente, a prueba y error en el laboratorio de control de calidad. Esto se hace para cada envase, y solo se hace una vez para cada envase.

Si bien no se puede determinar la cantidad exacta, si se controlar el exceso de aplicación, siendo esta la principal variable a controlar para hacer eficiente dicho proceso.

CONCLUSIONES

1. El uso racional y eficiente de los recursos en cualquier proceso es el principal objetivo la automatización, derivado de la automatización se obtiene el beneficio económico, que es recuperable a corto plazo, y cumple con los requisitos para la aprobación de la inversión en el proyecto.
2. Todos los procesos por muy sencillos que parezcan deben evaluarse económicamente, estos pueden ocasionar grandes pérdidas de recursos, y por ende, hacer que los costos del sistema completo sigan incrementado, especialmente cuando de las principales materias primas como los combustibles se han elevado hasta un 50%, obligando a todas las empresas a reducir costos ó trasladar el costo al cliente final, haciéndolas menos atractivas.
3. La razón principal del sistema propuesto es el aumento en la eficiencia de aplicación de gas, pero la detección de la mejora surge de la necesidad del aseguramiento de la calidad de los envases, como parte del programa de calidad total, que persigue la satisfacción total del cliente.
4. La aplicación de la ingeniería eléctrica y electrónica para el desarrollo de sistemas desde los más sencillos hasta los más complejos, es muy importante, pero debe complementarse con las herramientas de evaluación de proyectos y análisis de costos.

5. El proceso de fabricación de simple cavidad es el proceso más costoso en la fabricación de envases, ya que hay una notable reducción en la eficiencia de la producción, pero con este sistema se logra bajar el costo y aumentar la eficiencia.
6. Las características principales de los dispositivos seleccionados son de alta resistencia a temperatura, vibración y contaminación por polvo, de ellos depende la robustez y confiabilidad del sistema.
7. Los sensores foto eléctricos se seleccionaron como principal elemento captor, por la exactitud requerida y la necesidad de detección sin contacto físico, debido a la alta temperatura de trabajo.
8. La velocidad de la producción de envases es muy alta, esto requiere que la velocidad de procesamiento de datos sea alta, pero también se debe considerar que los algoritmos que controlan los procesos deben ser lo más sencillo posible, de lo contrario pueden provocar inestabilidad en el sistema. Además, la velocidad de procesamiento de datos está relacionada directamente con el costo del PLC.
9. Para el desarrollo del sistema se pusieron en práctica los conocimientos de los cursos de Electrónica Digital, Sistemas de Control, Relevación Industrial, Ingeniería Económica, Evaluación de proyectos.
10. El sistema está diseñado para trabajar con electro válvulas de tiempo de respuesta de 40 ms, si se desea cambiar, hay que realizar modificación al programa.

RECOMENDACIONES

1. El sistema propuesto mejora la eficiencia del proceso, pero se debe considerar que cualquier componente del sistema puede fallar, por lo que debe dejar el sistema actual como sistema de respaldo cuando exista una falla crítica en el sistema.
2. Aunque el sistema es automático se recomienda la inspección por lo menos una vez al día.
3. La tarea de mantenimiento debe incluir la verificación general de los sensores, electro válvulas y capacidad de cilindros de gas y fuente de alimentación.
4. Por la alta frecuencia de operación de las electro válvulas se sugiere el reemplazo cada seis meses de uso continuo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Mazariegos Rabanales, Jorge Armín. Automatización industrial con PLC's, un enfoque sistemático. Tesis Ing. En ciencias y sistemas, Guatemala, universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2001.
2. Davie, Alberto G. **Introducción a la automatización industrial**. 2da. ed. Buenos aires, Editorial Universitaria, 1974.
3. Téllez López, Luis Adolfo. Propuesta para la automatización de beneficios secos de café utilizando un PLC. Tesis Ing. en ciencias y sistemas, Guatemala, universidad de San Carlos de Guatemala, 2005.
4. Méndez Batres, Facundo Enrique. Aplicaciones de variadores de frecuencia y controles lógicos programables en las estaciones de bombeo de Empagua. Tesis Ing. Electricista, Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2001.
5. Ruiz del Valle, Romeo Adolfo. Guía para el diseño de sistemas de relevación industrial. Tesis Ing. en ciencias y sistemas, Guatemala, universidad de San Carlos de Guatemala, 1999.
6. "Proceso de Fabricación del vidrio" **Revista Vitro Ideas** (México) (28): 10.2003.
7. Asociación nacional de fabricantes de vidrio españoles <<http://www.anfevi.com>>.
8. Equipos de automatización Allen Bradley <<http://www.ab.com.catalogs>>.
9. Medidores de flujo <<http://spanish.asahi-america.com>>.
10. Sensores de ópticos <<http://www.keyinstruments>>.
11. Fink G. Donald y Wayne Beaty H.. **Manual de ingeniería eléctrica**. 13ª. edición (I) México: Editorial McGraw-Hill,2004.
12. Distefano, Joseph J. y otros. Teoría y problemas de retroalimentación de sistemas de control. Colombia: Editorial McGraw-Hill Interamericana,1992.

ANEXO 1

Tabla XXIX. Diagrama de variables del sistema propuesto

