

**Automatización de la máquina lavadora de botellas Barry-Wehmler
de la línea 1 del salón de embotellado de Bavaria-SABMiller,
Cervecería Bucaramanga**

**OSCAR FERNANDO CRISTANCHO VARELA
ID: 72759**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA BUCARAMANGA
INGENIERIA ELECTRONICA
2009**

**Automatización de la máquina lavadora de botellas Barry-Wehmler
de la línea 1 del salón de embotellado de Bavaria-SABMiller,
Cervecería Bucaramanga**

**OSCAR FERNANDO CRISTANCHO VARELA
ID: 72759**

**PROYECTO DE GRADO PRESENTADO PARA OPTAR
POR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRONICO**

**DIRECTOR DE PROYECTO:
Msc. JUAN CARLOS VILLAMIZAR**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA BUCARAMANGA
INGENIERIA ELECTRONICA
2009**

Nota de aceptación

Firma del jurado

Firma del jurado

Bucaramanga, 27 de Abril de 2009

**Para todos aquellos y aquellas que con su gracia o testarudez dibujaron un
perfil humano e integral.**

**Si aprendemos la lección
sabrás que al fin
el misterio es contradicción,
con todo aquello que conocemos
a veces hago todo al revés
el tsunami llegó hasta aquí
lo vi venir.**

**En palabras dije muchas cosas
pero en mi corazón todavía queda
tanto por decir
no me voy...
me quedó aquí.**

Y si no, no aprendimos la lección.

Nonita marina & Avita deomira, para ustedes en especial.

AGRADECIMIENTOS

- ® Al mejor ejemplo de cariño paternal y maternal, pa' y ma' los quiero montones.. . hasta el cielo !!
- ® A La fe y la confianza incondicional de Liseth Johanna.
- ® Master paez, diego, mao, Jandres, pao, paito, jota, orlando, gustavo, oriana, adriana, vivita, marcy, la familia martinez, la familia Cristancho, la familia Varela, la familia coro UPB, mi equipo bucararock.. .su apoyo me hace sentir honrado y especial!!
- ® A Mr Gutierrez, Mr Escobar, Mr Osorio, Mr Mora, Mr Barreto y el equipo de trabajo y mantenimiento de la línea 1 de embotellado, gracias por la oportunidad y colaboración para hacer esta propuesta posible.
- ® A JuanK Villamizar por su paciencia, confianza y guía.

CONTENIDO

Automatización de la máquina lavadora de botellas Barry-Wehmiller de la línea 1 del salón de embotellado de Bavaria-SABMiller, Cervecería Bucaramanga	1
Automatización de la máquina lavadora de botellas Barry-Wehmiller de la línea 1 del salón de embotellado de Bavaria-SABMiller, Cervecería Bucaramanga	2
GLOSARIO.....	12
INTRODUCCIÓN.....	14
1. JUSTIFICACIÓN	17
2. OBJETIVOS.....	19
2.1 General.....	19
2.2 Específicos.....	19
3. ANTECEDENTES.....	20
3.1 SISTEMA AUTOMATIZADO	20
3.1.1 Automatización industrial	20
3.2 ASPECTOS GENERALES	22
3.2.1 Descripción de la cervecera de Bucaramanga	24
4. GENERALIDADES	27
4.1 LAVAR BOTELLAS.....	27
4.1.1 Cargue de Botellas	27
4.1.2 Drenaje de residuos	28
4.1.3 Remojo: Tanque 0.....	29
4.1.4 Limpieza Principal: Inmersión en Soda	29
4.1.5 Limpieza Secundaria: Lavado	30
4.1.6 Juagado final: Enjuague	31
4.1.7 Descarga de botellas	32
4.1.8 Mecanismo de Extracción de etiquetas	33
4.1.9 Funcionamiento del sistema de aplicación de Coating.....	34
4.2 MODELO HYDROJET	34
4.2.1 Descripción general.....	35
4.2.2 Descripción detallada.....	35
4.2.3 MANDO PRINCIPAL	35
4.2.4 MANDO AUXILIAR DE CADENA.	36

4.2.5	CADENA PORTACANASTAS.....	36
4.2.6	CASILLAS.....	36
4.2.7	CAUSTI-CLEAN.....	36
4.2.8	PARRILLAS MOVILES. (WALKIN BEAM).	36
4.2.10	MECANISMO DE CARGA.....	37
4.2.11	PRE-ENJUAGUE.	37
4.2.12	COMPARTIMIENTO DE REMOJO.....	38
4.2.14	ENJUAGUE EXTERIOR.....	38
4.2.15	ENJUAGUE HYDRO.....	38
4.2.16	ENJUAGUE FINAL HYDRO.....	38
4.2.17	DRENAJE.....	39
4.2.18	AFLOJADOR DE BOTELLAS.....	39
4.2.19	DESCARGA ROTATIVA.....	39
5.	MARCO TEÓRICO	41
5.1	PLC.....	41
5.1.1	Características.....	41
5.1.2	PLC en comparación con otros sistemas de control	42
5.1.3	Señales Analógicas y digitales	43
5.1.4	Capacidades E/S en los PLC modulares.....	44
5.1.5	Programación.....	45
5.1.6	Interfaz de usuario	45
5.1.7	Comunicaciones	46
5.2	GENERALIDADES DE UN PLC	46
5.2.1	Concepto:.....	46
5.2.2	Funciones.....	47
5.3	CONEXIONES DE LOS PERIFÉRICOS	50
5.4.1	Ajuste por el método de Ziegler-Nichols:	51
6.	SOLUCIÓN AL PROBELMA	55
6.1	SISTEMA DE CARGUE.....	55
6.1.1	Acondicionamiento de la mesa de cargue	56
6.1.2	Sincronismo mesa de cargue	58

6.2	SISTEMA DE PRERINSE.....	64
6.3	SISTEMA TANQUES DE SODA	64
6.4	SISTEMA DE TANGUES DE AGUA.....	69
6.5	SISTEMA COCHE DE ENJUAGUE	70
6.6	SISTEMA DE DESCARGA.....	72
6.7	SISTEMA DE TRANSMISION	76
6.8	SISTEMA DE TRANSMISION INTERNA.....	79
6.9	SISTEMA DE EXTRACCION DE ETIQUETAS	79
6.10	SISTEMA DE CONTROL Y POTENCIA	83
6.11	SISTEMA DE SUMINISTROS (AGUA, AGUA RECUPERADA, VAPOR)	84
7.	DESARROLLO DELSOFTWARE.....	85
7.1	MANUAL.....	86
7.2	AUTOMÁTICO.....	92
8.	ANEXOS	100
9.	CONCLUSIONES.....	116
	RECOMENDACIONES.....	118

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Vista Cervecería Bavaria Bucaramanga.....	22
Figura 2. Lavadora de botellas modelo Hydrojet.....	23
Figura 3. Esquema línea de embotellado	25
Figura 4. Cargue de Botellas	28
Figura 5. Drenaje de residuos.....	29
Figura 6. Proceso de inmersión en soda	30
Figura 7. Chorros internos	32
Figura 8. Cadena viajera y mecanismo de descarga de botellas.....	32
Figura 9. Dirección del flujo de la solución.....	33
Figura 10. Malla extractora de etiqueta.....	34
Figura 11. Dibujo transversal de un modelo de lavadora tipo Hydrojet....	35
Figura 12. Etapas de la lavadora Barry-Wehmler en bloques	40
Figura 13. Determinación de los parámetros a y L para la aplicación del método de Ziegler Nichols	51
Figura 14. Mesa de Cargue	57
Figura 15. Mesa de cargue	58
Figura 16. Vista interna mesa de cargue	58
Figura 16. Estación de mando del cargue	60
Figura 17. Variación de velocidad mesa de cargue	61
Figura 18. Sensor indicador de la variación de velocidad de la mesa de cargue.....	62
Figura 19. Descripción de la velocidad de la mesa de cargue.....	63
Figura 20. Perfil empujador de botellas	63
Figura 21. Botones del embrague.....	64
Figura 22. Sistema de control automático de temperatura y de concentración de soda cáustica.....	65
Figura 23. Bomba de soda cáustica.....	66
Figura 24. Válvula proporcional de paso de vapor samson con IP (interfaz de presión)	69
Figura 25. Coche de enjuague.....	70
Figura 26. Soporte del coche de enjuague	70
Figura 27. Válvula de intermitencia on off.....	71
Figura 28. Chorros de agua exteriores e interiores y válvula de intermitencia.....	71
Figura 29. Vista transversal del coche de enjuague	72
Figura 30. Descripción descarga de botellas	73
Figura 31. Sensor inductivo cilindro	74
Figura 32. Detalle del cargue de botellas.....	75
Figura 33. Sensor inductivo embrague	76

Figura 34. Motor y la transmisión de la máquina lavadora de botellas	77
Figura 35. Cadena viajera.....	78
Figura 36. Sistema de transmisión de la maquina lavadora de botellas ..	78
Figura 37. Variador de velocidad que controla el movimiento del motor principal	79
Figura 38. Vista interior y exterior del sistema extractor de etiqueta.....	79
Figura 39. Malla filtrante	80
Figura 40. Ventilador generador de flujo.....	80
Figura 41. Bomba axial de adición de soda	81
Figura 42. Motoreductor malla etiqueta	81
Figura 43. Tanque separador donde se atrapa la etiqueta	82
Figura 44. Banda trasportadora etiqueta extraída.....	83
Figura 46. Sensor fotoeléctrico Osiris XUM-W.....	101
Figura 47. Montaje para sincronización del sensor XUM-W	102
Figura 48. Potenciómetros usados para el cambio de sensibilidad	103
Figura 49. Montaje inicial del sistema de detección de nivel de líquido.	103
Figura 50. TAG OC 93 y Transceiver ERO-71/QC	104
Figura 51. Etiqueta Optimum	106
Figura 52. Etiqueta Sensor universal	107
Figura 53. Sensor inductivo XS630B2PAL01M12.....	107
Figura 54. Sensor de temperatura Omnigrad M TR44, con transmisor .	108
Figura 55. Transmisor Hart	110
Figura 56. Sensor capacitivo PA10-U de autonics.....	110
Figura 57. Aplicación sensor capacitivo PA10-U	112
Figura 58. Sensor Deltapilot S FMB70.....	112
Figura 59. Principio de medición Deltapilot S FMB	114

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros de ajuste para el método de la respuesta al escalón de Ziegler Nichols	52
Tabla 2. Método de ajuste original propuesto por Ziegler-Nichols	52
Tabla 3. Modificaciones del método de Z-N para el controlador PID	53
Tabla 4. Comparación entre el ajuste original propuesto por Z-N y el de Cohen Coon.....	53
Tabla 5. Formatos y alcances de detección.....	106
Tabla 6. Sensores Rectangulares.....	107

GLOSARIO

Mesa de cargue: Sistema receptor de botellas que las guía hacia la entrada de la maquina lavadora de botellas.

Soda cáustica: NaOH, solución química capaz de remover la etiqueta, y el pegante con el que esta se adhiere a la botella.

Hydrojet: Nombre que se le da a la configuración de la maquina lavadora de botellas construida por la matriz Barry-Wehmler.

Paletizadora: Maquina que agrupa las canastas en estibas, las canastas provienen del salón de embotellado con botellas llenas.

Depaletizadora: Maquina que desagrupa las canastas organizadas en estibas, un montacarga transporta las estibas y la Depaletizadora acomoda las canastas en la banda transportadora.

Desempacadora: Maquina que toma las botellas vacías al interior de las canastas transportadas y las ubica en los transportadores de botellas

Inspector de botellas: Supervisor de botellas llenas, en la maquina se toman de 8 a 12 fotos de cada botella y se comparan con un estándar, si la comparación no es exitosa devuelve la botella a la maquina lavadora.

Empacadora: Maquina que recoge las botellas llenas en los transportadores y las acomoda en las canastas que son llevadas al depósito de la empresa.

Agitador: Parte de la mesa de cargue que se desplaza horizontalmente y colabora con el enfilamiento de las botellas que van a subir a los bolsillos de la lavadora

Bolsillos portabotella: Lugar de la cadena viajera donde se ubica una botella que va a ser lavada.

Cadena viajera: Cadena interior que atraviesa la maquina lavadora de botellas, está conformada por bolsillos portabotella.

Embrague: Acople mecánico que permite aislar el movimiento rotativo del motor (del cargador o la descarga) cuando realiza un sobre esfuerzo por atranque de botella.

Perfil empujador: Elemento acoplado al eje del cargador que sube las botellas de la mesa de cargue a los bolsillos de la cadena viajera.

Prerinse: Etapa del lavado previa al remojo, las botellas están con la boquilla en la parte inferior y cualquier residuo que pueda ser removido por gravedad se deposita en este recinto.

Bomba axial: Elemento mecánico que brinda energía a un fluido impulsa un lugar a otro.

Cabezal: También llamado Transmisor, es un elemento que normaliza la salida de un transductor análogo a una señal de entre 4 y 20 mA.

Columna hidrostática: Columna de agua que es proporcional a la medida de presión en el interior de un tanque.

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: Automatización de la máquina lavadora de botellas Barry-Wehmler de la línea 1 del salón de embotellado de Bavaria-SABMiller, cervecería Bucaramanga.

AUTOR(ES): Oscar Fernando Cristancho Varela

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Electrónica

DIRECTOR(A): Juan Carlos Villamizar Rincón

RESUMEN

La Máquina lavadora de botellas Barry-Wehmler de la cervecería de Bucaramanga funciona actualmente con una serie de sistemas electromecánicos accionados por controladores independientes; la documentación sobre el sistema es pobre y el programa del PLC que controla algunos de los subprocesos no admite acceso para descargar la información del programa con el que funciona. El proyecto recopila información suficiente para caracterizar los subprocesos e integrarlos en un solo controlador capaz de manejar toda la información correspondiente a la actividad de lavar botellas y con esta información, diseñar un programa en formato ladder que recree dicha caracterización. La elección de instrumentación se justifica, así como la razón para escoger una familia de autómatas telemecánicos, capaz de procesar y mantener el funcionamiento actual de la máquina.

PALABRAS CLAVES: PLC, Autómata, Mesa de carga, sensor, soda cáustica.

VºBºDIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF DEGREE

TITLE: Automation of the machine washer of bottles Barry-Wehmler of the line 1 of the lounge of Bavaria-SABMiller's bottling, brewery Bucaramanga.

AUTHOR: Oscar Fernando Cristancho Varela

FACULTY: Electronic Engineering

DIRECTOR: Juan Carlos Villamizar Rincón

ABSTRACT

The bottle washing Machine Barry-Wehmler of the Bucaramanga brewery works at the moment with an arrangement of electromechanical systems driven by independent controllers; the documentation on the system is poor and the program of the PLC who controls some of the subprocesses does not admit access to unload the information of the program with which it works. The project compiles information sufficient to characterize the subprocesses to integrate them in a single controller able to handle all the information corresponding to the activity to wash bottles, this information, is the pillar to design a program in format to ladder capable to recreate this characterization. The election of instrumentation is justified, as well as the reason to choose a family of Telemecanique PLCs able to process and to maintain the operation present of the machine. □ ?

KEYWORDS: PLC, Autómata, Mesa de carga, sensor, soda cáustica.

V°B°DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

INTRODUCCIÓN

Para mediados del siglo 20, la automatización había existido por muchos años en una escala pequeña, utilizando mecanismos simples para automatizar tareas sencillas de manufactura. Sin embargo, el concepto solamente llegó a ser realmente práctico con la adición (y evolución) de las computadoras digitales, cuya flexibilidad permitió manejar cualquier clase de tarea. Las computadoras digitales con la combinación requerida de velocidad, poder de cómputo, precio y tamaño empezaron a aparecer en la década de 1960s. Antes de ese tiempo, las computadoras industriales eran exclusivamente computadoras analógicas y computadoras híbridas. Al final de la década, las computadoras digitales tomaron el control de la mayoría de las tareas simples, repetitivas, tareas semiespecializadas y especializadas, con algunas excepciones notables en la producción e inspección de alimentos. Existen muchos trabajos donde no existe riesgo inmediato de la automatización. Ningún dispositivo ha sido inventado que pueda competir contra el ojo humano para la precisión y certeza en muchas tareas; tampoco el oído humano. El más inútil de los seres humanos puede identificar y distinguir mayor cantidad de esencias que cualquier dispositivo automático. Las habilidades para el patrón de reconocimiento humano, reconocimiento de lenguaje y producción de lenguaje se encuentran más allá de cualquier expectativa de los ingenieros.

La máquina lavadora de botellas Barry-wehmiller con capacidad de 48 bolsillos portabotella y 33 golpes por minuto (aprox 1500 botellas x minuto), tiene aproximadamente unos 40 años de servicio, a lo largo de su vida de trabajo, ha sido objeto de modificaciones aisladas que han mejorado etapas de su proceso, y mientras la planta está siendo objeto de una modernización, ésta no puede ser ajena al cambio; el proyecto si bien no va a modificar los procesos y el funcionamiento de la máquina (esta mas que comprobado que así como están, son útiles) pretende mejorar los tiempos de mantenimiento, analizar los estados de funcionamiento, reducir el consumo de energía, integrar la máquina a la producción de la planta, llevar todo su control a un solo controlador y demás ventajas que tenga las automatizaciones en base a PLC. Las condiciones de la máquina y su expediente requieren en principio un estudio metodológico descriptivo capaz de documentar el estado de la máquina, su funcionamiento en detalle, las variables que controlan el proceso, su incidencia dentro del comportamiento de la misma para generar una secuencia de actividades que recreen el funcionamiento de la manera más fiel y pueda incluso ser una herramienta capaz de aumentar la efectividad de la máquina y su proceso.

1. JUSTIFICACIÓN

El actual desarrollo alcanzado en la esfera científico – técnica a nivel mundial ha obligado al hombre a crear y mejorar los métodos para mantener y preservar los activos de cualquier empresa o negocio para obtener de ellos un uso más eficiente y al mismo tiempo, disminuir al máximo los gastos que impone ese mantenimiento lo que influye de manera muy especial en la economía. La consideración del mantenimiento como una actividad de apoyo auxiliar, etc.; ha sido una carga pesada que ha costado mucho eliminar y que incluso no está totalmente desechada. La época en que la *disponibilidad* lo pagaba todo está pasando a un segundo plano en favor de la “*rentabilidad de la disponibilidad*”. Además en estos momentos entran en escena consideraciones medioambientales, de satisfacción del cliente (interno y externo), de estrategia global, de imagen, etc.

En el momento hay dos metodologías en curso de formación y aplicación en la planta, ambos buscan integrar la capacidad efectiva de trabajo y la reducción de costos orientados a brindar un mejor producto final. Estas dos utilidades se pueden resumir de la siguiente manera:

- De nada sirve hacer las tareas correctamente, si no son las tareas correctas. Este lema resume la metodología RCM. La tendencia en el mundo sobre asesoramiento en servicios de mantenimiento como herramienta estratégica para reducir costos, mejorar la producción, y aumentar la capacidad. El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM - Reliability Centered Maintenance), es un procedimiento utilizado para determinar qué debe hacerse, para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional.
- *World Class Maintenance* es una capacidad competitiva central (*core competence*) que una organización ha construido a través de procesos de aprendizaje permanente, acumulación de conocimientos y utilización efectiva de la experiencia adquirida a través de los años.
- Es un sistema integrado de prácticas excelentes en dirección de mantenimiento, con una visión de negocio y de contribución al logro de objetivos estratégicos de la empresa.
- *World Class* se utiliza como sinónimo de excelencia, capacidad de cambio, buenas prácticas, resultados sobresalientes, productos y servicios de gran calidad. En numerosas empresas el término World Class engloba las estrategias utilizadas para optimizar la calidad de

los productos, mejorar los tiempos de respuesta y eliminar todo tipo de pérdidas.

La función de mantenimiento vista con la óptica World Class se interpreta como una capacidad estratégica que posee una empresa y que le permite competir mediante una buena gestión integral de equipos a través de todo el ciclo de vida de estos.

Al realizar documentación del proyecto, se facilita la posibilidad de implementar estas dos metodologías; así mismo luego de la implementación del diseño, queda pendiente una capacitación al personal que interviene en el mantenimiento y operación del proceso de lavado de botellas en la máquina a modernizar.

La máquina lavadora de botellas Barry-Wehmiller se encuentra funcionando en la cervecería de Bucaramanga hace 40 años, es una máquina capaz de operar a una capacidad adecuada pero tiene el inconveniente de tener varios procesos de control electromecánico que no se han integrado al proceso total y funcionan de manera autónoma de tal forma que si en una sección se presenta una falla las otras secciones siguen funcionando y la producción se ve alterada. Por otra parte se ve la necesidad de integrar la máquina al sistema que se está usando hoy en día para tener un mejor control de la producción, la calidad del producto y una reducción de los costos. La modernización a la que se está sometiendo la cervecería de Bucaramanga, hace considerar una alternativa viable, con elementos utilizados en la planta, fácil de implementar y que al mismo tiempo brinde una opción de mejora a la máquina.

2. OBJETIVOS

2.1 General

- Integrar las variables del proceso de lavado de botellas en un autómata capaz de controlar el proceso.

2.2 Específicos

- Identificar la maquina, su funcionamiento y formas de reaccionar a los diferentes inconvenientes que el proceso del lavado de botellas involucre.
- Detectar variables del proceso que aun no están siendo monitoreadas.
- Seleccionar el transductor adecuado para medir diferentes variables de control.
- Seleccionar el PLC más adecuado de la marca telemecanique para realizar la automatización.
- Seleccionar y estandarizar los sensores y actuadores a usar en la remodelación de la lavadora.

3. ANTECEDENTES

3.1 SISTEMA AUTOMATIZADO

La automatización es un sistema donde se transfieren tareas de producción, realizadas habitualmente por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos.

Un sistema automatizado consta de dos partes principales:

La Parte Operativa es la parte que actúa directamente sobre la máquina. Son los elementos que hacen que la máquina se mueva y realice la operación deseada. Los elementos que forman la parte operativa son los accionadores de las máquinas como motores, cilindros, compresores y los captadores como fotodiodos, finales de carrera...

La Parte de Mando suele ser un autómata programable (tecnología programada), aunque hasta hace poco se utilizaban relés electromagnéticos, tarjetas electrónicas o módulos lógicos neumáticos (tecnología cableada). En un sistema de fabricación automatizado el autómata programable está en el centro del sistema. Este debe ser capaz de comunicarse con todos los constituyentes de sistema automatizado.

3.1.1 Automatización industrial

La automatización Industrial es un conjunto de técnicas basadas en sistemas capaces de recibir información del proceso sobre el cual actúan, realizar acciones de análisis, organizarlas y controlarlas apropiadamente con el objetivo de optimizar los recursos de producción, como los materiales, humanos, económicos, financieros, etc. La automatización de una empresa dependiendo del proyecto puede ser parcial o total, y se puede ajustar a procesos manuales o semi automáticos.

La automatización de las plantas ó equipos industriales es un aspecto muy importante en el crecimiento de las empresas que se ven en la necesidad de:

- Incrementar la demanda del producto
- Ofrecer productos de mejor calidad
- Optimizar el consumo de energía.

La principal razón de automatizar es el incremento de la productividad, ello se logra racionalizando las materias primas e insumos, reduciendo los costos operativos, reduciendo el consumo energético, incrementando la seguridad de los procesos, optimizando el recurso humano de la empresa y mejorando el diagnóstico, supervisión y control de calidad de la producción.

La máquina lavadora de botellas Barry-Wehmler de la línea 1 de la Cervecería de Bucaramanga, ha alcanzado un nivel de producción adecuado a la capacidad de trabajo de dicha línea, pero las mejoras para un equipo con unas cuantas décadas de trabajo han llegado progresivamente funcionando de manera autónoma, y con escasa documentación; por consiguiente el paso a seguir y parte del objetivo de este proyecto, es lograr mediante la integración de estos mecanismos mejorar los índices de calidad, buscando la optimización de los recursos para conseguir esta meta.

Las mejoras que se han hecho funcionan como módulos del proceso no integrados entre sí que permiten aprovechar recursos o brindan seguridades en la máquina, tales elementos son:

- Adecuación de válvulas controladoras de vapor para controlar la temperatura de los tanques 2 a 5.
- Pulsador para adicionar soda caústica mediante una bomba.
- Bombas para recuperar el agua que se utiliza en la etapa de enjuague, y utilizarla en las primeras etapas de la pasteurizadora.
- Válvula economizadora on/off para los chorros de agua de la etapa de enjuague.
- El acople de un agitador en la mesa de la carga para enfilear las botellas hacia el aliviador de presión que lleva las botellas a las canastas portabotella.
- Un sensor para disminuir la velocidad de la cadena table top por la que se transportan las botellas a la entrada de la lavadora.
- Sensores que detectan trabas por botellas atrapadas en la etapa de carga y descarga de la botella.
- Sensores detectores de nivel de agua en el interior de los tanques de lavado.
- Sensores detectores de acumulación de botellas en la etapa de descargue de botellas.

La máquina lavadora de botellas Barry-wehmiller (Figura 2) con capacidad de 48 bolsillos portabotella, opera con una frecuencia de 33 golpes por minuto lo cual hace que tengamos una salida aproximada de 1500 botellas cada minuto, limpias, comercialmente estériles, listas para ser utilizada en el proceso de envasado y tapado, previo control del inspector de botellas.

3.2 ASPECTOS GENERALES

Una breve descripción de la cervecería de Bucaramanga nos ubicará el lugar físico y de proceso en el que se encuentra ubicada la maquina lavadora de botellas Barry-Wehmiller.

La siguiente vista panorámica (mayo de 2005) deja ver sobre su parte derecha lo que se denomina el salón de embotellado así como luego se muestra de manera general el funcionamiento y las partes involucradas en el proceso de envasado.



Figura 1 Vista Cervecería Bavaria Bucaramanga



Figura 2. Lavadora de botellas modelo Hydrojet

3.2.1 Descripción de la cervecería de Bucaramanga

La cervecería de Bucaramanga, cuenta con una capacidad instalada de un millón quinientos mil hectolitros por año (1500.000Hl), que suple el oriente Colombiano. Se producen las marcas águila, aguilita, costeña, Cerveza del barril, Pony Malta y Agua Brisa. Dispone de dos líneas de embotellado, cada una con capacidad de 7.200 decenas/hora; tiene dos líneas de envasado que envasan las marcas: Águila formato de 250 & 300cc, Costeña 350cc, Pony Malta 350cc.

Este estudio se centrará en la línea No.1, específicamente en la máquina lavadora de botellas Barry-Wehmiller; sin embargo la implementación planteada en este trabajo, podría ser aplicada a cualquier lavadora de la empresa.

La línea 2 es una mejora que la empresa implemento a finales del año 2006 y desde luego al ser más nueva ofrece unas condiciones de automatización que surgen como un reto para una que tiene un par de décadas más de trabajo

Línea de embotellado. La línea de embotellado No. 1 está compuesta por:

- Un Tándem Paletizadora y Depaletizadora, marca H&K: En esta máquina se desarman los pallet y se dispone las cajas con envase vacío sobre los transportadores y recoge las canastas con envases llenos y arma nuevamente los pallet.
- Transportadores de cajas, marca GEBO: Llevan las cajas con envase vacío hacia la despachadora, recoge las cajas con envase lleno de la empacadora y las lleva nuevamente a la Paletizadora.
- Despachadora, marca H&K: Retira el envase vacío de las cajas y los dispone en los transportadores de botellas.
- Transportadores de botella, marca GEBO: Conduce las botellas hacia los diferentes equipos del tren.
- Lavadora de botella, marca Barry-Wehmiller: Realiza el lavado, juagado y extracción de la etiqueta en la botella.
- Inspector de botellas vacías, marca FILTEC: Verifica que la botella este óptima para ser envasada, de lo contrario la devuelve a la lavadora.
- Envasadora, marca H&K: Llena la botella con el producto y la tapa.
- Pasterizadora, marca H&K: Garantiza la inocuidad del producto mediante el proceso de pasteurización.
- Etiquetadora, marca Krones: Coloca la etiqueta a la botella.

- Empacadora, marca H&K: Introduce las botellas llenas con producto en las cajas.

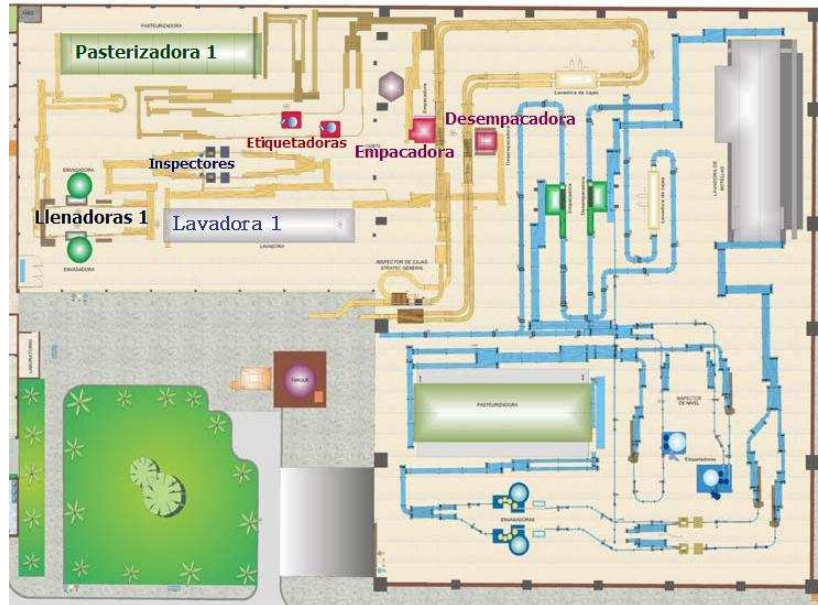


Figura 3. Esquema línea de embotellado

Luego de ser puestas en un transportador de canastas, las botellas son desagrupadas por la desempacadora y ubicadas en los transportadores de botella, estos la movilizan por una pequeña etapa de chequeo donde un dispositivo de vacío retira elementos como pitillos, plásticos o papeles que puedan ser removidos con facilidad al no estar adheridos a la botella para luego ser llevados a la lavadora de botellas.

la etapa de lavado desde luego va a ser detallada más adelante, de aquí salen las botellas limpias comercialmente estériles, listas para ser utilizadas en el proceso de envasado y tapado, no sin antes pasar por los inspectores de botella, que toman entre 8 y hasta 13 fotografías de la botella para compararlas con unas imágenes estándar, si la botella no cumple alguna de las comparaciones es devuelta a la máquina lavadora, en caso contrario esta sigue por los transportadores de botella a la etapa de llenado y tapado.

Luego de ser llenadas y tapadas, pasan por la etapa de pasterización que dura unos 45 minutos, la botella viaja por chorros de agua de una temperatura promedio de 5°C hasta unos 60°, manteniendo esta

temperatura por 12 minutos, el tiempo restante se disminuye la temperatura – igualmente por chorros de agua- gradualmente hasta salir a un nuevo transportador de botellas trasladando las botellas limpias, llenas, tapadas y pasteurizadas a la etapa de etiquetado, donde también se fecha con su día de envasado para saber su caducidad -cada botella tiene 180 días donde se garantiza la estabilidad del sabor - y finalmente gracias a los transportadores llegan a la etapa de empacado, donde se introducen en cajas que son ubicadas en un transportador de cajas que las llevan para ser agrupadas y ubicadas en pilas a la espera de un despacho.

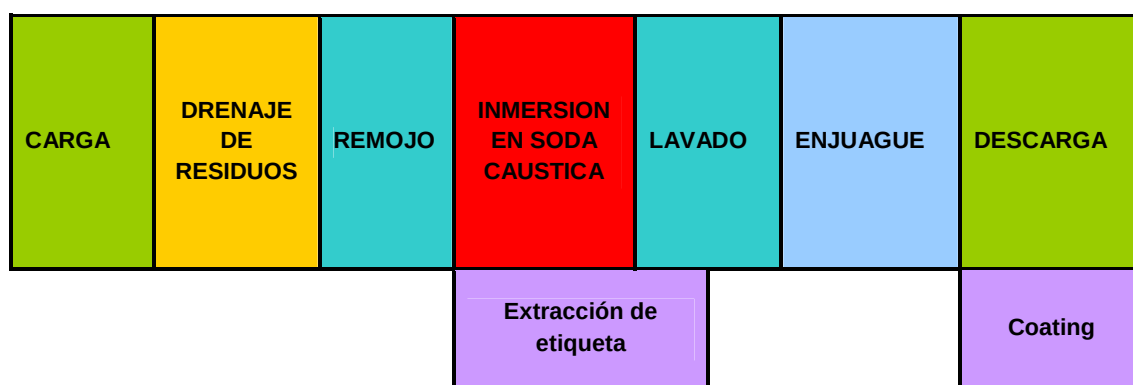
4. GENERALIDADES

4.1 LAVAR BOTELLAS

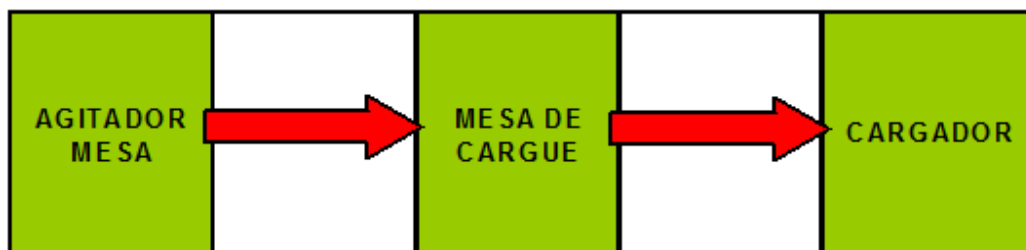
El proceso de lavado de botellas realizado en la maquina lavadora de botellas expuesto en la figura es bastante ilustrativo.

A continuación se muestra la caracterización de los procesos realizados para obtener una botella limpia comercialmente estéril, lista para ser utilizada en el proceso de envasado y tapado.

La lavadora funciona por el principio de inmersión o remojo. Las etapas por las cuales pasa la botella antes de llegar a la descarga son:



4.1.1 Cargue de Botellas



Al entrar las botellas a la mesa de carga un conjunto de cadenas (Table Top), se deslizan sobre guías metálicas y alimentan continuamente la cargadora, con suficientes botellas; si las botellas llegan con demasiada presión son distribuidas por los “aliviadores de presión” permitiendo guiarlas fácilmente hacia los agitadores que alinean las botellas en guías rectas que a su vez están alineadas con los bolsillos.

Las botellas son impulsadas por el insertor de botellas, este funciona por medio de elementos giratorios que van a media revolución por insertador. Al recoger una hilera de botellas queda bloqueada la siguiente debido a la forma de los elementos, que es seguidamente llevada al campo de carga, llegan hasta cierto punto donde son abandonadas, en ese instante son introducidas completamente por el “perfil empujador de botellas” en el interior de los bolsillos portabotellas de la lavadora para dar inicio al ciclo de lavado.

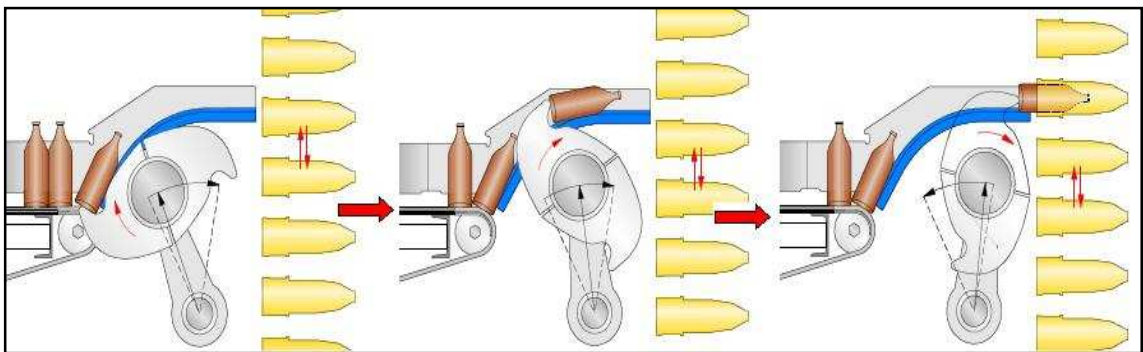


Figura 4. Cargue de Botellas

4.1.2 Drenaje de residuos

La lavadora cuenta con un área de descarga de residuos líquidos, pitillos o cuerpos extraños que se encuentran dentro de la botella, por acción de la gravedad estos residuos caen de la botella a medida que esta avanza en su recorrido hacia el tanque 0.

El objetivo de este vaciado pre-eliminar es reducir la contaminación del primer tanque de soda.

El operario debe retirar los residuos sólidos con la ayuda de una pala y carretilla.

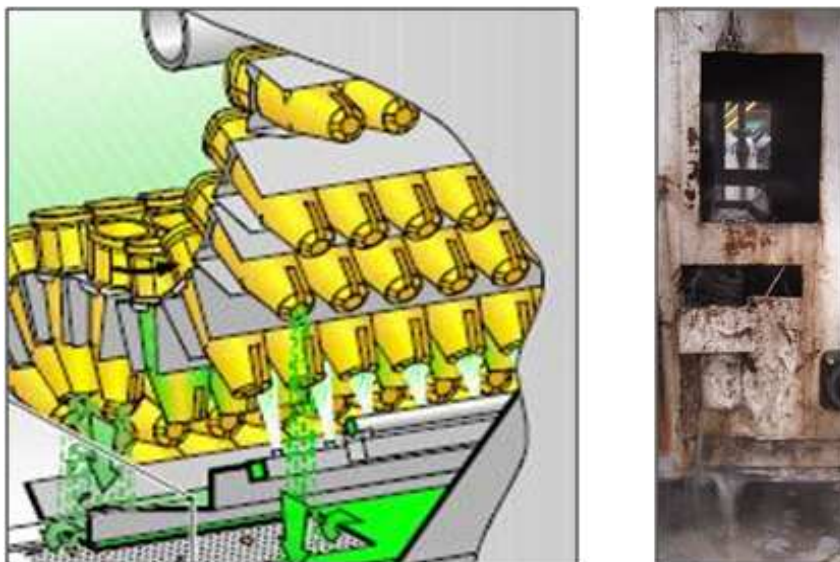


Figura 5. Drenaje de residuos

4.1.3 Remojo: Tanque 0.

Antes de que las botellas entren a los tanques que contienen soda, entran al Tanque 0, en donde se busca retirar los residuos líquidos y sólidos adheridos a las botellas para evitar la contaminación de la soda y neutralizar los residuos de cerveza.

Todos los elementos están en contacto con agua a 40 °C para aumentar su temperatura y evitar que las botellas entren demasiado frías a los tanques siguientes y se produzcan roturas.

También se busca humedecer la superficie interna y externa de la botella y los bolsillos de la lavadora para prevenir pérdidas de soda cáustica

4.1.4 Limpieza Principal: Inmersión en Soda

En esta etapa la solución alcalina detergente, afloja y disuelve el pegante de las etiquetas, remueve todos los residuos de mugre y cerveza remanentes de contaminación microbiológica dentro de las botellas, las etiquetas se deben depositar en el fondo de el tanque para posterior extracción se extraen por

medio del sistema extractor de etiquetas ubicado en los tanques 2, 3, 4, 5, 6 y 7.

Las botellas ingresan a una serie de tanques (1 a 5), que poseen una solución de soda cáustica y que están a diferentes temperaturas. La concentración de soda, al igual que la temperatura va aumentando a través de los tanques.

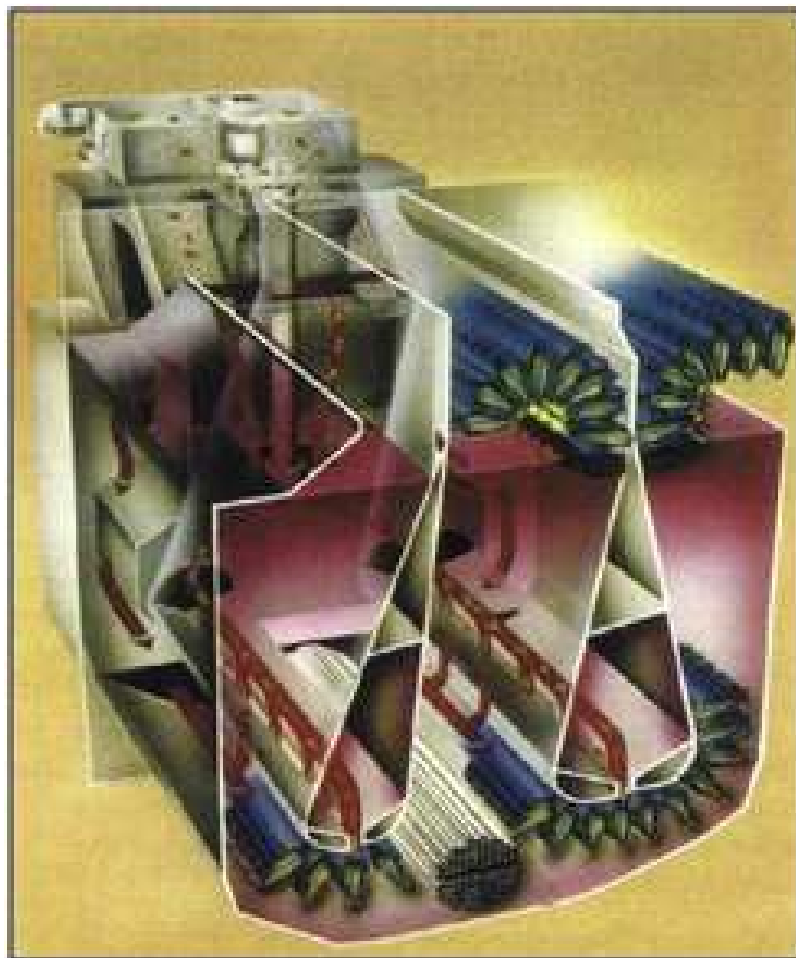


Figura 6. Proceso de inmersión en soda

4.1.5 Limpieza Secundaria: Lavado

Una vez las botellas han pasado por los tanques con soda, pasan a otra serie de tanques (6 al 11), con agua con el fin de:

- a) Enfriar la botella antes de su salida.
- b) Retirar la mugre que ya está desprendido.
- c) Juagar las botellas y retirar (o al menos disminuir) los residuos de soda de la superficie.

4.1.6 Juagado final: Enjuague

Las botellas salen de los tanques de la lavadora y son sometidas a una serie de duchas con agua, tanto interna como externamente, para retirar pequeños residuos (pelusa) y terminar de retirar la solución de soda de la superficie del vidrio.

El primer enjuague se realiza con agua recirculada, el segundo con agua recuperada y el último enjuague se realiza con agua fresca del acueducto con el fin de retirar las últimas huellas de soda y dejar las botellas limpias y comercialmente estériles.

El enjuague final se realiza de la siguiente manera:

Agua recuperada: Las botellas reciben una inyección interna con agua recuperada por medio de un juego de duchas a una presión entre 26 - 38 Psi, el agua recuperada pasa a través del filtro de arena antes de ser inyectada al interior de la botella.

Agua recirculada: A continuación las botellas son inyectadas con agua recuperada por medio de tres líneas de chorros internos a una presión de trabajo de 50 psi.

Lavado con agua fresca: Funciona por medio de una inyección interna con agua fresca (proveniente de la Planta de Tratamiento del Acueducto de la Planta) por medio de dos líneas de chorros internos a una presión de 20 - 60psi.

Una válvula neumática actúa de forma intermitente por medio de dos sensores que se activan con el movimiento horizontal del coche de enjuague permitiendo el paso de agua a los tubos de riegos. Además el circuito de agua fresca cuenta con una válvula neumática “economizadora” que corta el flujo de agua hacia el enjuague cada vez que la maquina se detiene.

El coche de juagado mantiene un recorrido sincronizado con las cadenas de canastas y los bolsillos, en un movimiento horizontal.

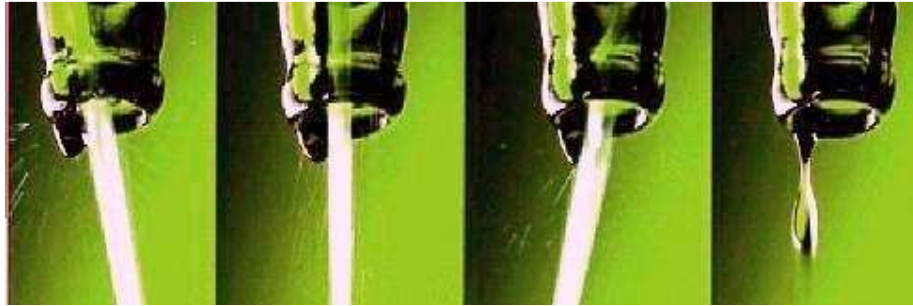


Figura 7. Chorros internos

4.1.7 Descarga de botellas

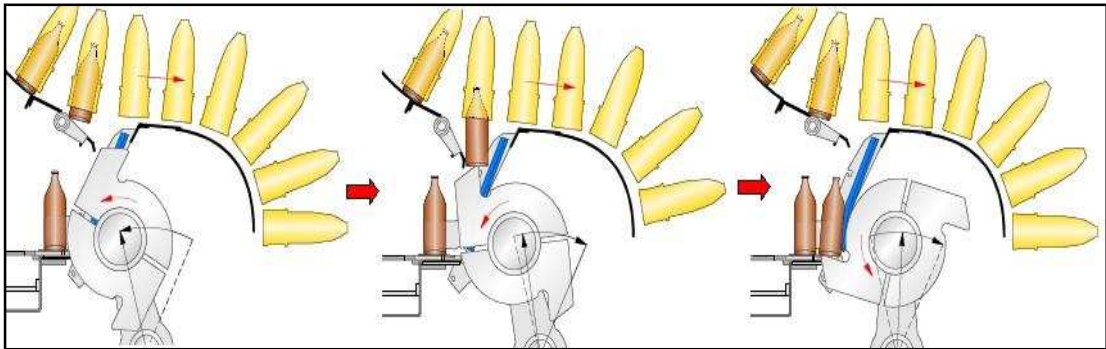


Figura 8. Cadena viajera y mecanismo de descarga de botellas

Las botellas completamente limpias y atemperadas, son descargadas suavemente en los transportadores de salida.

La entrega de botellas se realiza de forma parecida al cargue, es decir a través de elementos giratorios que trabajan a media revolución por botella entregada. Las botellas limpias se deslizan sin caer a través de un elemento de transferencia sincrónico y las reciben los elementos giratorios para entregarlas al transportador de salida.

La máquina tiene un sensor inductivo que se encuentra ubicado en el primer tramo del transporte a la salida de la descarga, con la finalidad de detener el equipo cuando exista acumulación de botellas.

La descarga es una zona húmeda debido al vapor que se condensa en las superficies, por lo tanto tiene las condiciones óptimas para el crecimiento de microorganismos (alta humedad y rango de temperatura entre 30 – 40°C), por lo que si no se tiene un adecuado aseo hay riesgo de contaminación del envase limpio.

4.1.8 Mecanismo de Extracción de etiquetas

Una bomba, impulsa la soda hacia la cámara exterior aumentando la turbulencia del liquido en el tanque, este movimiento ayuda a desprender la etiqueta de la botella, debido a la diferencia de los niveles de liquido entre las cámaras interior y exterior se crea una corriente de flujo que permite que las etiquetas sean llevadas a la primera; una cinta extractora recoge las etiquetas sueltas y asciende hasta salir del baño de soda para entrar en contacto con aire de un ventilador que ayuda a desprender las etiquetas para finalmente entregarla a la cinta tamizadora para su eliminación.

Si las etiquetas no se retiran, el papel se puede disolver en la soda y generar una gran cantidad de “pelusa” que no alcanza a ser juagada al final, o se acumulan dentro de la maquina, ocupando el volumen de la soda por lo que al cabo de un tiempo significaría que no se tendría soda en los tanques y las botellas quedaran mal lavadas.

Las botellas en su recorrido por los diferentes tanques encontraran transversalmente a su paso una corriente hidráulica, producida por la descarga axial de una bomba. Esta se encargara de desprender las etiquetas adheridas a los envases, las cuales están parcialmente despegadas por la acción de la Soda Cáustica sobre el pegante.

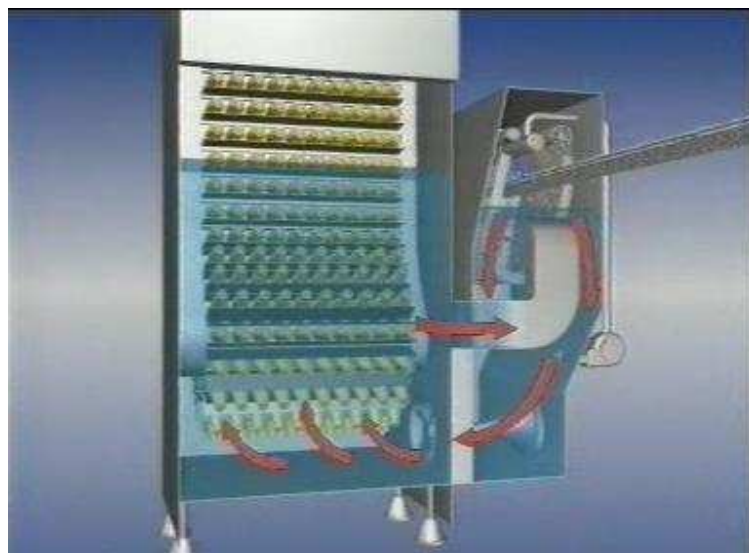


Figura 9. Dirección del flujo de la solución

La corriente atraviesa canastas arrastrando etiquetas u otros desechos que encuentre, para dirigirse al ducto de entrada del tanque separador de etiquetas.

Dentro del tanque separador de etiquetas se encuentra una malla viajera accionada por un motoreductor.



Figura 10. Malla extractora de etiqueta

4.1.9 Funcionamiento del sistema de aplicación de Coating

La mezcla de Tegoglas y agua pura a una temperatura de 60°C se almacena en un tanque con calentamiento (tanque buffer).

La recirculación de la mezcla al tanque buffer se realiza con una bomba centrífuga con velocidad controlada y presión de líquido constante.

Cada fila de botellas que sale de la lavadora es rociada con el químico por medio de las boquillas de aspersión a una cantidad aproximada de 1 ml por botella.

4.2 MODELO HYDROJET

La maquina lavadora de botellas Barry-Wehmiller está conformada en su construcción siguiendo el modelo Hydrojet.

Descripción y principios de manejo de una maquina lavadora de botellas Hydrojet.

4.2.1 Descripción general. Para obtener una botella limpia y comercialmente estéril, se necesitan cuatro factores. Estos son:

Agua caliente, Compuesto alcalino, tiempo y enjuague a alta presión. Los modelos Hydrojet contienen de una manera extraordinaria, estos cuatro factores. El movimiento continuo transporta las botellas por las diferentes estaciones de limpieza desde el momento cuando las botellas están cargadas automáticamente en las casillas hasta cuando las descarga la máquina.

La maquina es movida por un solo motor controlado por un variador ATV31. Esta unidad mueve la maquina y maneja con exactitud su velocidad. Motores individuales manejan el dispositivo causti-clean, las válvulas de chorros cáusticos, bombas y agitadores.

4.2.2 Descripción detallada. Al estudiar la figura (11), se notan as partes funcionales del modelo 212 Hydrojet. Estas son Carga Prenjuague, preremoyo, hydrochest, postremojo, enjuague final y descarga. Todas estas funciones están ejecutadas mientras que las canastillas y la cadena están en movimiento continuo.

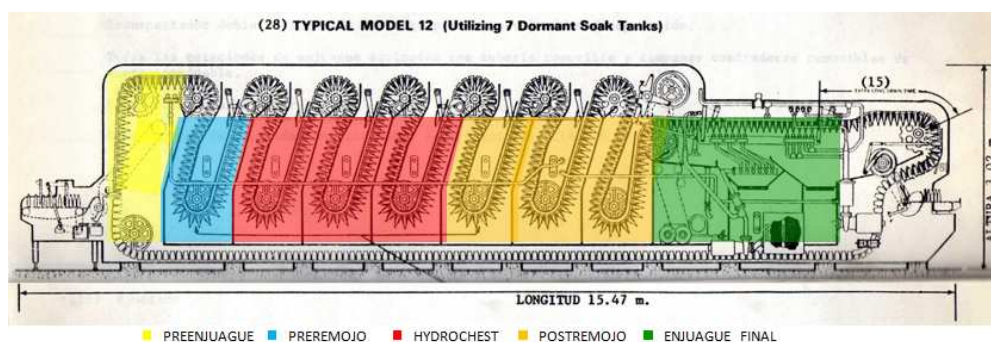


Figura 11. Dibujo transversal de un modelo de lavadora tipo Hydrojet

4.2.3 MANDO PRINCIPAL. Se utiliza un sistema único de mando que consiste esencialmente de estas partes: Unidad de velocidad variable

(ATV31 – antes era mecánica), unidad pesada de reducción de ruedas dentadas y acoplamiento de torsión.

4.2.4 MANDO AUXILIAR DE CADENA. Cadenas de rodillos de alta velocidad se utilizan para el mando auxiliar. Estas cadenas proporcionan el método más eficiente para transmitir la fuerza eje a eje con bajas pérdidas por fricción y dan una positiva regulación. Todas las cadenas son de amplio tamaño para la carga a la cual están sujetas y proporcionan acción positiva con larga duración.

4.2.5 CADENA PORTACANASTAS. Se ha tomado cada precaución posible para evitar el estiramiento de la cadena y asegurarle una larga vida. Los pernos de la cadena son de acero endurecido con la superficie de máximo apoyo, trabajando sobre bujes de acero endurecido. La cadena utiliza rodillos de cara ancha para máximo contacto con la superficie.

4.2.6 CASILLAS. La forma y construcción de las casillas es de tal manera que permite a la suciedad, las etiquetas y otra basura salir fácilmente de las casillas una vez aflojadas de las botellas.

4.2.7 CAUSTI-CLEAN. El dispositivo causti-clean consiste del extractor en forma de tubo que contiene en su interior un espiral movido por un engranaje y con una bomba para extraer la solución. La bomba absorbe la solución con las etiquetas del compartimiento de remojo, transportando las etiquetas afuera del extractor por intermedio del espiral. La solución separada de las etiquetas es filtrada por una malla metálica perforada y bombea de nuevo al compartimiento de remojo.

4.2.8 PARRILLAS MOVILES. (WALKIN BEAM). Todos los tubos y chorros hydro-jet para lavado y cepillado interior de las botellas están montados sobre parrillas móviles sincronizadas con el movimiento de la cadena transportadora. Las bocas de las botellas son centradas

positivamente al avanzar la parrilla con las botellas. Luego las parrillas bajan para recoger y centrar la siguiente fila de botellas. Las copas centradoras son fabricadas de acero inoxidable para su mayor duración y limpieza. La centrada positiva y el acompañamiento de las parrillas móviles mantienen el contacto con las botellas el máximo tiempo posible.

4.2.9 CONTROLADORES DE TEMPERATURA. Los controladores automáticos de temperatura regulan la temperatura de la solución en los varios compartimientos de remojo. Estos controladores dejan entrar el vapor a los serpentines calentadores, de acuerdo a la necesidad, para manejar la temperatura de la solución. El controlador es regulado por la presión de abajo, la cual es controlada por una bombilla térmica colocada en el interior del compartimiento de remojo. Los controladores de temperatura se pueden ajustar a una temperatura predestinada y la bombilla térmica, en conjunto con el mecanismo controlador, mantendrá la temperatura deseada.

4.2.10 MECANISMO DE CARGA. El mecanismo de carga consiste en cuatro componentes básicos. Estos son: La mesa de carga, las filas cargadoras, los brazos levantadores y los dedos auxiliares de empuje. Las botellas son manejadas sucesivamente por cada uno de los componentes que funcionan sincronizadamente. La función de la mesa de carga es abastecer las filas de cargadores con suficientes botellas en posición correcta para llenar los cargadores rotativos. Los dedos osciladores colocados delante de las filas cargadoras guían continuamente las botellas a sus respectivas filas y previenen así el congestionamiento de botellas. Los brazos rotativos de movimiento continuo levantan suavemente las botellas por encima de un corto arco a las casillas. Los dedos auxiliares de empuje completan y aseguran la carga de botellas a las casillas al asentarlas suavemente en ellas.

4.2.11 PRE-ENJUAGUE. Después de colocar las botellas en las casillas, estas suben. Antes de entrar al primer compartimiento de remojo, las botellas son inyectadas con chorros de agua a presión que quitan

mucha de la suciedad de las botellas. Estos chorros previenen la innecesaria contaminación de la solución caustica en el primer compartimiento de remojo.

4.2.12 COMPARTIMIENTO DE REMOJO. La cantidad de compartimientos de remojo depende del grado de contaminación de las botellas. El primer compartimiento de remojo acondiciona las botellas para el segundo al calentarlas y quitarles la suciedad a las botellas. Con excepción del último compartimiento de remojo, cada uno de los compartimientos tiene agitadores de palanca.

4.2.13 PULIDO HYDRO. Después de que el remojo sumergido haya removido o aflojado completamente toda la suciedad, las botellas son transportadas por otra estación de seis hileras de chorros “poppet valves”. En esta estación, las botellas están sujetas también a múltiples impactos de una suave solución caustica. Entre los impactos hay tiempo suficiente de drenaje para facilitar que le siguiente chorro entre dentro y hasta el fondo de la botella. Las seis hileras de chorros internos “poppet valves” son positivamente centradas por intermedio de copas centradoras de acero inoxidable.

4.2.14 ENJUAGUE EXTERIOR. El exterior de las botellas es limpiado por cinco chorros externos. Un chorro es de suave solución caustica, dos chorros son de agua recirculada y los dos últimos son de agua fresca.

4.2.15 ENJUAGUE HYDRO. Después del completo drenaje de la solución caustica, las botellas son pulidas por dentro con agua re circulada. Tres hileras de chorros internos positivamente centrados, de agua a alta presión completan el proceso de lavado.

4.2.16 ENJUAGUE FINAL HYDRO. Dos centradas hileras de chorros internos de agua fresca limpian las ultimas huellas de caustico, dejando las botellas brillantemente limpias y comercialmente estériles.

4.2.17 DRENAJE. Después del último enjuague la cadena y las canastas son inclinadas para eliminar el agua de la base cóncava de las botellas. Tiempo de drenaje extra largo impide que el agua de enjuague se quede en el interior de las botellas.

4.2.18 AFLOJADOR DE BOTELLAS. La lavadora es equipada con un dispositivo aflojador de botellas para asegurar que las botellas estén sueltas en la casilla cuando llegan a la descarga rotativa.

4.2.19 DESCARGA ROTATIVA. Las botellas se descargan por su propia gravedad a los discos rotativos continuos. Estos transportan suavemente las botellas de las casillas al transportador de descarga en un solo movimiento continuo.

4.3 MAQUINA LAVAODRA DE BOTELLAS BARRY-WEHMILLER

La figura (12) muestra las etapas de la lavadora Barry-Wehmiller en bloques.

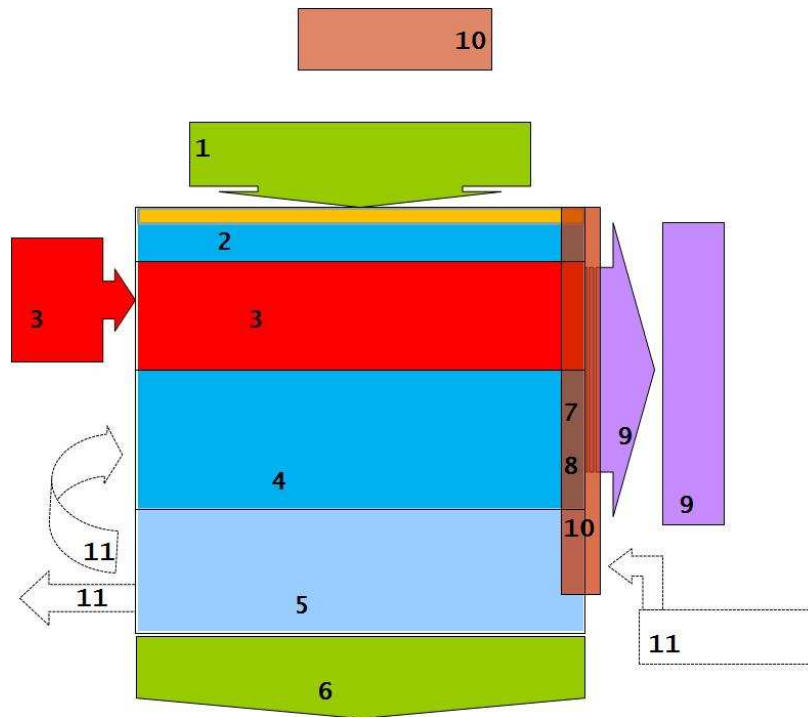


Figura 12. Etapas de la lavadora Barry-Wehmiller en bloques

- 4.3.1 SISTEMA DE CARGUE
- 4.3.2 SISTEMA DE PRERINSE
- 4.3.3 SISTEMA DE TANQUES DE SODA
- 4.3.4 SISTEMA DE TANQUES DE AGUA
- 4.3.5 SISTEMA DE COCHE DE ENJUAGUE
- 4.3.6 SISTEMA DE DESCARGA
- 4.3.7 SISTEMA DE TRANSMISION
- 4.3.8 SISTEMA DE TRANSMISION INTERNA
- 4.3.9 SISTEMA DE EXTRACCION DE ETIQUETAS
- 4.3.10 SISTEMA DE CONTROL Y POTENCIA
- 4.3.11 SISTEMA DE SUMINISTROS (AGUA, AGUA RECUPERADA, VAPOR)

5. MARCO TEÓRICO

5.1 PLC

Los **CLP** o **PLC** (*Programmable Logic Controller* en sus siglas en inglés) son dispositivos electrónicos muy usados en Automatización Industrial.

Su historia se remonta a finales de la década de 1960, cuando la industria buscó en las nuevas tecnologías electrónicas una solución más eficiente para reemplazar los sistemas de control basados en circuitos eléctricos con relés, interruptores y otros componentes comúnmente utilizados para el control de los sistemas de lógica combinatorial.

Hoy en día, los **PLC** no sólo controlan la lógica de funcionamiento de máquinas, plantas y procesos industriales, sino que también pueden realizar operaciones aritméticas, manejar señales analógicas para realizar estrategias de control, tales como controladores proporcional integral derivativo (PID).

Los **PLC** actuales pueden comunicarse con otros controladores y computadoras en redes de área local, y son una parte fundamental de los modernos sistemas de control distribuido.

Existen varios lenguajes de programación, tradicionalmente los más utilizados son el diagrama de escalera LADDER, preferido por los electricistas, lista de instrucciones y programación por estados, aunque se han incorporado lenguajes más intuitivos que permiten implementar algoritmos complejos mediante simples diagramas de flujo más fáciles de interpretar y mantener. Un lenguaje más reciente, preferido por los ingenieros informáticos y electrónicos, es el FBD (en inglés Function Block Diagram) que emplea compuertas lógicas y bloques con distintas funciones conectados entre sí.

En la programación se pueden incluir diferentes tipos de operadores, desde los más simples como lógica booleana, contadores, temporizadores, contactos, bobinas y operadores matemáticos, hasta operaciones más complejas como manejo de tablas (recetas), apuntadores, algoritmos PID y funciones de comunicación multiprotocolos que le permitirían interconectarse con otros dispositivos

5.1.1 Características

La principal diferencia con otros dispositivos son las conexiones especiales de entrada/salida. Estas conexiones conectan el PLC a sensores y actuadores. Los PLC leen interruptores, indicadores de temperatura y las

posiciones de complejos sistemas de posicionamiento. Algunos incluso pueden llegar a utilizar visión artificial. En los actuadores, los PLC pueden operar motores eléctricos y neumáticos, cilindros hidráulicos o diafragmas, relés magnéticos y solenoides. Las conexiones de entrada/salida pueden estar integradas en un solo PLC o el PLC puede tener módulos de entrada/salida unidos a una red de ordenadores que se conecta al PLC.

Los PLC fueron inventados como recambio para sistemas automáticos que podrían llegar a usar cientos o miles de relés y contadores. A menudo, un solo PLC puede programarse para reemplazar miles de relés. Los controladores programables fueron inicialmente adoptados por la industria del automóvil, donde la revisión del software reemplazó a la reescritura o rediseño de los controles cada vez que cambiaban los modelos que se producían.

Los primeros PLC funcionaban con lógica en escalera (LADDER) que tenía mucha similitud con los diagramas eléctricos. Los electricistas eran capaces de evitar los errores en los esquemas eléctricos utilizando lógica de escalera. Esta notación fue elegida para reducir las necesidades de aprendizaje de los técnicos existentes.

La funcionalidad de los PLC ha evolucionado a lo largo de los años para incluir control de relés secuencial, control de movimiento, control de procesos, sistemas de control distribuidos y establecimiento de redes. El tratamiento de datos, el almacenaje, la energía del proceso y las capacidades de la comunicación de algún PLC moderno son aproximadamente equivalentes a las computadoras de escritorio. Una programación como la de los PLC combinada con hardware de E/S remota, permite a un ordenador de sobremesa igualar en ciertas aplicaciones a un PLC.

Bajo el estándar IEC 61131-3, los PLCs pueden ser programados usando lenguajes de programación estructurados. Una notación de programación gráfica llamada Sequential Function Charts está disponible en determinados controladores programables.

5.1.2 PLC en comparación con otros sistemas de control

Los PLC están adaptados para un amplio rango de tareas de automatización. Estos son típicos procesos industriales en la manufactura donde el coste de desarrollo y mantenimiento de un sistema de automatización es relativamente alto contra el coste de la automatización, y donde van a existir cambios en el sistema durante toda su vida operacional. Los PLC contienen todo lo necesario para manejar altas cargas de potencia; se requiere poco diseño eléctrico y el problema de diseño se centra en expresar las operaciones y secuencias en la lógica de escalera (o diagramas de funciones). Las aplicaciones de PLC son normalmente hechos a la medida

del sistema, por lo que el costo del PLC es bajo comparado con el costo de la contratación del diseñador para un diseño específico que solo se va a usar una sola vez. Por otro lado, en caso de productos de alta producción, los sistemas de control a medida se amortizan por sí solos rápidamente debido al ahorro en los componentes, lo que provoca que puede ser una buena elección en vez de una solución "genérica".

Sin embargo, debe ser notado que algunos PLC ya no tienen un precio alto. Los PLC actuales tienen todas las capacidades por algunos cientos de dólares.

Diferentes técnicas son utilizadas para un alto volumen o una simple tarea de automatización. Por ejemplo, una lavadora de uso doméstico puede ser controlada por un temporizador CAM electromecánico costando algunos cuantos dólares en cantidades de producción.

Un diseño basado en un microcontrolador puede ser apropiado donde cientos o miles de unidades deben ser producidas y entonces el coste de desarrollo (diseño de fuentes de alimentación y equipo de entradas y salidas) puede ser dividido en muchas ventas, donde el usuario final no tiene necesidad de alterar el control. Aplicaciones automotrices son un ejemplo, millones de unidades son vendidas cada año, y pocos usuarios finales alteran la programación de estos controladores. (Sin embargo, algunos vehículos especiales como son camiones de pasajeros para tránsito urbano utilizan PLC en vez de controladores de diseño propio, debido a que los volúmenes son pequeños y el desarrollo no sería económico.)

Algunos procesos de control complejos, como los que son utilizados en la industria química, pueden requerir algoritmos y características más allá de la capacidad de PLC de alto nivel. Controladores de alta velocidad también requieren de soluciones a medida; por ejemplo, controles para aviones.

Los PLC pueden incluir lógica para implementar bucles analógicos, "proporcional, integral y derivadas" o un controlador PID. Un bucle PID podría ser usado para controlar la temperatura de procesos de fabricación, por ejemplo. Históricamente, los PLC's fueron configurados generalmente con solo unos pocos bucles de control analógico y en donde los procesos requieren cientos o miles de bucles, un Sistema de Control Distribuido (DCS) se encarga. Sin embargo, los PLC se han vuelto más poderosos, y las diferencias entre las aplicaciones entre DCS y PLC han quedado menos claras.

5.1.3 Señales Analógicas y digitales

Las señales digitales o discretas como los interruptores, son simplemente una señal de On/Off (1 ó 0, Verdadero o Falso, respectivamente). Los botones e interruptores son ejemplos de dispositivos que proporcionan una

señal discreta. Las señales discretas son enviadas usando la tensión o la intensidad, donde un rango específico corresponderá al On y otro rango al Off. Un PLC puede utilizar 24V de corriente continua en la E/S donde valores superiores a 22V representan un On, y valores inferiores a 2V representan Off. Inicialmente los PLC solo tenían E/S discretas.

Las señales analógicas son como controles de volúmenes, con un rango de valores entre 0 y el tope de escala. Esto es normalmente interpretado con valores enteros por el PLC, con varios rangos de precisión dependiendo del dispositivo o del número de bits disponibles para almacenar los datos. Presión, temperatura, flujo, y peso son normalmente representados por señales analógicas. Las señales analógicas pueden usar tensión o intensidad con una magnitud proporcional al valor de la señal que procesamos. Por ejemplo, una entrada de 4-20 mA o 0-10 V será convertida en enteros comprendidos entre 0-32767.

Las entradas de intensidad son menos sensibles al ruido eléctrico (como por ejemplo el arranque de un motor eléctrico) que las entradas de tensión.

Usando solo señales digitales, el PLC tiene 2 entradas digitales de dos interruptores del tanque (tanque lleno o tanque vacío). El PLC usa la salida digital para abrir o cerrar una válvula que controla el llenado del tanque.

5.1.4 Capacidades E/S en los PLC modulares

Los PLC modulares tienen un limitado número de conexiones para la entrada y la salida. Normalmente, hay disponibles ampliaciones si el modelo base no tiene suficientes puertos E/S.

Los PLC con forma de rack tienen módulos con procesadores y con módulos de E/S separados y opcionales, que pueden llegar a ocupar varios racks. A menudo hay miles de entradas y salidas, tanto analógicas como digitales. A veces, se usa un puerto serie especial de E/S que se usa para que algunos racks puedan estar colocados a larga distancia del procesador, reduciendo el coste de cables en grandes empresas. Alguno de los PLC actuales pueden comunicarse mediante un amplio tipo de comunicaciones incluidas RS-485, coaxial, e incluso Ethernet para el control de las entradas salidas con redes a velocidades de 100 Mbps.

Los PLC usados en grandes sistemas de E/S tienen comunicaciones P2P entre los procesadores. Esto permite separar partes de un proceso complejo para tener controles individuales mientras se permita a los subsistemas comunicarse mediante links. Estos links son usados a menudo por dispositivos HMI como keypads o estaciones de trabajo basados en PC.

5.1.5 Programación

Los primeros PLC, en la primera mitad de los 80, eran programados usando sistemas de programación propietarios o terminales de programación especializados, que a menudo tenían teclas de funciones dedicadas que representaban los elementos lógicos de los programas de PLC. Los programas eran guardados en cintas. Más recientemente, los programas PLC son escritos en aplicaciones especiales en un ordenador, y luego son descargados directamente mediante un cable o una red al PLC. Los PLC viejos usan una memoria no volátil (magnetic core memory) pero ahora los programas se guardados en una RAM con batería propia o en otros sistemas de memoria no volátil como las memoria flash.

Los primeros PLC fueron diseñados para ser usados por electricistas que podían aprender a programar los PLC en el trabajo. Estos PLC eran programados con "lógica de escalera" ("ladder logic"). Los PLC modernos pueden ser programados de muchas formas, desde la lógica de escalera hasta lenguajes de programación tradicionales como el BASIC o C. Otro método es usar la Lógica de Estados (State Logic), un lenguaje de programación de alto nivel diseñado para programas PLC basándose en los diagramas de transición de estados.

Recientemente, el estándar internacional IEC 61131-3 se está volviendo muy popular. IEC 61131-3 define cinco lenguajes de programación para los sistemas de control programables: FBD (Function block Diagram), LD (Ladder Diagram), ST (Structured text, similar al lenguaje de programación Pascal), IL (Instruction list) y SFC (Sequential Function chart).

Mientras que los conceptos fundamentales de la programación del PLC son comunes a todos los fabricantes, las diferencias en el direccionamiento E/S, la organización de la memoria y el conjunto de instrucciones hace que los programas de los PLC nunca se puedan usar entre diversos fabricantes. Incluso dentro de la misma línea de productos de un solo fabricante, diversos modelos pueden no ser directamente compatibles

5.1.6 Interfaz de usuario

Los PLC necesitan poder interactuar con la gente para la configuración, las alarmas y el control diario. Para este propósito se emplean los interfaces hombre-maquina HMI.

Un sistema simple puede usar botones y luces para interactuar con el usuario.

Las pantallas de texto están disponibles, al igual que las pantallas táctiles. La

mayoría de los PLC modernos pueden comunicarse a través de una red con otros sistemas, por ejemplo, con un ordenador con SCADA (Supervisor y Control And Data Acquisition) o un navegador web.

5.1.7 Comunicaciones

Los PLC llevan integrados al menos un puerto de comunicaciones RS232, y opcionalmente pueden llevar RS485 y ethernet estos como los más comunes Sin embargo es más común generar la conversión de Un puerto Serial a Un USB ya que las PC lo demandan . Modbus es el protocolo de comunicaciones de nivel más bajo aunque hay otros protocolos como Profibus. Existen otros protocolos de comunicaciones que pueden ser utilizados como en lo que tienen más de 10mb.

5.2 GENERALIDADES DE UN PLC

5.2.1 Concepto: Las siglas PLC significan *Programmable Logic Controller*, lo que en español sería controlador lógico programable. Resulta ser un equipo que se puede programar en un lenguaje simbólico, y está diseñado para controlar procesos industriales e implementarlos en las maquinas que los llevan a cabo.

Cuando se refiere a programar en un lenguaje no informático, se habla de que estos dispositivos se programan en un lenguaje denominado “escalera” ó *Ladder*, un tipo de programación fácil y amigable de manera que no hace falta escudriñar en profundidad las notaciones que poseen generalmente los compiladores comerciales, donde es necesario estar familiarizado con algún lenguaje para entenderlo.

Este lenguaje se fundamenta en una notación grafica de bloques (en algunos casos, tales como PLCs marca Siemens). O con figuras simples como esquemáticos de contactores, bobinas y elementos utilizados para control de maquinas.

Un PLC recibe por sus entradas señales que serán procesadas por un programa lógico interno determinado, que ejecutara acciones específicas sobres sus accionadores en sus salidas. Lo que indica que los PLC son funcionales en sistemas que poseen procesos de monitorear, control, entre otros.

Es necesario utilizar PLC en caso de que se presenten situaciones tales como:

- Espacio reducido.
- Procesos de producción periódicamente cambiante.
- Procesos secuenciales.
- Maquinaria de procesos variables.
- Instalaciones de procesos complejos y amplios.
- Chequeo y programación centralizada de las partes del proceso.

5.2.2 Funciones. Las funciones básicas que posee un PLC común son:

- **Detección:** Lectura de la señal de las entradas distribuidas por el sistema de fabricación.
- **Mando:** Elaborar y enviar las acciones al sistema mediante las salidas y preaccionadores.
- **Dialogo hombre maquina:** Mantener un dialogo con los operarios de producción, obedeciendo sus consignas e informando del estado del proceso.
- **Programación:** Para introducir, elaborar y cambiar el programa de aplicación del autómatas. El dialogo de programación debe permitir modificar el programa incluso con el autómatas controlando la maquina.
- **Redes de comunicación:** Permita establecer comunicación con otras partes de control. Las redes industriales permiten la comunicación y el intercambio de datos entre autómatas en tiempo real.
- **Sistemas de supervisión:** También los autómatas permiten comunicarse con ordenadores provistos de programas de supervisión industrial. Esta comunicación se realiza por una red industrial o por medio de una conexión por el puerto serial del ordenador
- **Control de procesos continuos:** Además de dedicarse al control de sistemas de eventos discretos, los autómatas llevan integradas funciones que permiten el control de procesos continuos. Disponen de módulos de entradas y salidas analógicas y la posibilidad de ejecutar reguladores PID que están programados en el autómatas.
- **Entradas-Salidas distribuidas:** Los módulos de entrada salida pueden estar distribuidos por la instalación y se comunican con la unidad central del autómatas mediante un cable de red.
- **Buses de campo:** Mediante un solo cable de comunicación se pueden conectar al bus de entradas y salidas, reemplazando al cableado tradicional. El autómatas consulta cíclicamente los estados de las entradas y actualiza el estado de las salidas.

5.2.3 Componentes: Dentro de los principales componentes de un PLC básico se encontramos.

- **Gabinete principal:** Este elemento es sobre el que se conectan el resto de elementos. Puede alojar un número finito de elementos dependiendo del fabricante y conectarse a otros gabinetes similares mediante un gabinete de expansión.
- **Fuente de alimentación:** La tensión de entrada es normalmente de 110/120VCA de entrada y 24VCD de salida que es con la que se alimenta a la CPU.
- **CPU:** es el cerebro del PLC. Consta de uno o varios microprocesadores (según el fabricante) que se programan mediante un software propio. La mayoría de ellos ofrecen varias formas de programación (lenguaje de contactos, nemónico o instrucciones, de funciones, etc.).

Normalmente trabajan con buses de 16 bits, aunque algunos modernos trabajan con buses de 32 bits. Hoy en día la potencia de cálculo de estos PLCs es grandísima, sobre todo si se trabaja con números reales o coma flotante, dando unas resoluciones más que deseables. Trabajando con programas digitales puede incluso alcanzarse un ciclo de expansión de 10ms.

El programa alojado en la CPU va escrito en un lenguaje propio de la misma y se ejecuta en una secuencia programable con su respectivo inicio y fin.

El tiempo que transcurre entre los dos se llama ciclo de exploración y hay un temporizador interno que vigila que este programa se ejecute de principio a fin, llamado perro guardián o watchdog. Si este temporizador finaliza y el programa no ha ejecutado la instrucción END, el PLC pasara a estado de STOP.

- **Tarjetas entradas/salidas digitales:** Se enchufan o conectan al gabinete y comunican con la CPU a través de la citada conexión. En el caso de las entradas digitales transmiten los estados 0 o 1 del proceso a la CPU. En el caso de las salidas, la CPU determina el estado de las mismas tras la ejecución del programa y las activa o desactiva en consecuencia.

Normalmente se utilizan tarjetas de entradas de 24VCD y salidas de 24VCD, aunque también las hay de 110 y 220VCA, depende de las preferencias y normativas locales. Las hay de 8, 16 y 32 entradas o salidas mezcladas ambas.

- **Tarjetas entradas/salidas analógicas:** se conectan al gabinete de igual manera que las anteriores, pero teniendo en cuenta que en algunos modelos de PLCs han de estar situadas lo más cerca posible de la CPU (por problemas de caída de tensión)

Estas tarjetas leen un valor analógico e internamente lo convierten en un

valor digital para su procesamiento en la CPU. Esta conversión la realizan los convertidores analógico-digitales internos de las tarjetas que en algunos casos es uno para todos los canales de entrada o salida aunque actualmente se tiene uno por cada canal de entrada o salida. En este último caso el procesamiento de las señales analógicas es mucho más rápido que en el otro. Estas tarjetas son normalmente de 2, 4, 8 o 16 entradas /salidas analógicas, llamándose a cada una de ellas canal.

Los rangos de entrada están normalizados siendo lo más frecuente el rango de 4-20mA (miliamperios) y 1-10 VCD, aunque también existen de 0-20mA, 1-5V, 0-5V, etc.

- Tarjetas especiales: se enchufan o conectan al gabinete y comunican con la CPU a través de la citada de conexión. Se utilizan normalmente para control o monitorización de variables o movimientos críticos en el tiempo, ya que usualmente realizan esta labor independientemente de la CPU. Muestra de ello pueden considerarse las tarjetas de posicionamiento de motores y/o las tarjetas de regulación.

5.2.4 Aplicaciones Entre las aplicaciones más comunes que puede tener un PLC podemos mencionar algunos ejemplares tales como:

- Maniobra de maquinas
- Maquinaria industrial de plástico
- Maquinaria de embalajes
- Maniobra de instalaciones
- Instalaciones de aire acondicionado, calefacción etc.
- Instalaciones de seguridad
- Señalización y control
- Chequeo de programas
- Señalización de estado de procesos

5.2.5 Fortalezas y debilidades Las principales virtudes del uso de un PLC son:

Menor tiempo empleado en la elaboración de proyectos debido a que:

- No es necesario dibujar el esquema de contactos.
- No es necesario simplificar las ecuaciones lógicas, ya que por lo general la capacidad de almacenamiento del modulo de memoria es lo suficientemente grande.
- La lista de materiales queda sensiblemente reducida, ya que el PLC es un equipo con muchos elementos integrados, y al elaborar el presupuesto correspondiente se elimina parte del problema que

supone contar con diferentes proveedores y diferentes plazos de entrega.

- Posibilidad de introducir modificaciones sin cambiar el cableado ni añadir aparatos
- Mínimo espacio de ocupación.
- Menor costo de mano de obra de la instalación.
- Economía de mantenimiento. Además de aumentar la fiabilidad del sistema, al eliminar contactos móviles, los mismos autómatas pueden indicar y detectar averías.
- Posibilidad de gobernar varias maquinas con un mismo autómata.
- Menor tiempo para la puesta en funcionamiento del proceso al quedar reducido al tiempo de cableado.
- Si por alguna razón la maquina queda fuera de servicio, el autómata sigue siendo útil para otra máquina o sistema de producción.
- En contraposición a sus cualidades se pueden citar algunos inconvenientes:
- Es necesario un programador, lo que obliga a que las competencias del operador sean más específicas.
- La inversión en principio es alta.

Debido a que todos los PLCs son diferentes tanto en características HARDWARE como en SOTFWARE, se recomienda al lector que se remita al anexo dedicado al conocimiento y descripción del modelo TELEMECANIQUE PREMIUM, QUANTUM ó TWIDO y además a la parte donde se mencionan características técnicas y eléctricas así como la descripción de los editores, redes de escaleras comunicaciones y registros internos de este dispositivo.

5.3 CONEXIONES DE LOS PERIFÉRICOS.

Se debe entender como periféricos aquellos elementos que no forman parte interna del PLC (en este caso); pero que permiten recibir o transmitir una acción desde o hacia el interior y el exterior del PLC, respectivamente.

De modo que se tiene elementos de entrada en función discreta (ON, OFF y ON/OFF), como por ejemplo: sensores, pulsadores, finales de carrera, etc. y en función continua, como pueden ser: sensores analógicos de 4 a 20mA, de 0 a 10VDC, sensores de temperatura etc.

Todos estos con la función de cerrar un circuito y en este caso en particular, el circuito del que hace parte el PLC.

5.4 PID, AJUSTE DE ZIEGLER-NICHOLS

En estas líneas ilustraremos de forma breve pero específica una particular estructura de control que es casi universalmente utilizada en la industria. Se trata de la familia de controladores de estructura PID.

Estos controladores han mostrado ser robustos y extremadamente beneficiosos en el control de muchas aplicaciones de importancia en la industria.

PID significa:

- ✓ Proporcional, que origina una actuación de control correctiva proporcional al error.
- ✓ Integral, que brinda una corrección proporcional a la integral del error. Esta acción tiene la ventaja de asegurar que en última instancia se aplicará suficiente acción de control para reducir el error de regulación a cero. Sin embargo, la acción integral también tiene un efecto desestabilizador debido al corrimiento de fase agregado.
- ✓ Derivativo, que da propiedades predictivas a la actuación, generando una acción de control proporcional a la velocidad de cambio del error. Tiende dar más estabilidad al sistema pero suele generar grandes valores en la señal de control.

El objetivo de diseño de un sistema de control es que la salida siga al setpoint en forma rápida y precisa. Esto implica que el controlador responda adecuadamente ante perturbaciones externas (buen comportamiento regulador). Además es deseable que el controlador sea insensible a errores de modelado.

5.4.1 Ajuste por el método de Ziegler-Nichols:

Existen diferentes variantes del método dependiente del dominio en que se trabaje. Por ejemplo si se toman los parámetros de la respuesta al escalón de acuerdo a la Figura 13.

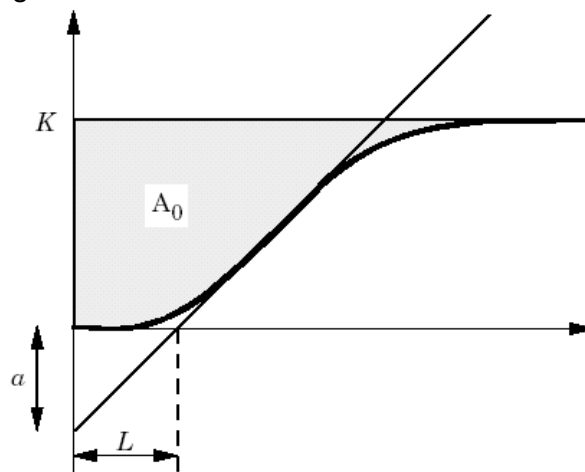


Figura 13. Determinación de los parámetros a y L para la aplicación del método de Ziegler Nichols

A partir de estos datos los parámetros del controlador clásico se obtienen de la Tabla 1

TABLA 1. PARÁMETROS DE AJUSTE PARA EL MÉTODO DE LA RESPUESTA AL ESCALÓN DE ZIEGLER NICHOLS

Controller	k	T_i	T_d	T_p
P	$1/a$			$4L$
PI	$0.9/a$	$3L$		$5.7L$
PID	$1.2/a$	$2L$	$L/2$	$3.4L$

El ajuste mediante el método de Ziegler y Nichols (Ziegler y Nichols, 1942) que requiere un análisis frecuencial tal que permite estimar cuál es la ganancia límite (K_u) de estabilidad para el sistema a lazo cerrado con un controlador proporcional solamente.

El período de oscilación resultante T_u se denomina también período último. En la Tabla (1) se presenta el ajuste original propuesto por Ziegler Nichols (Z-N), el cual representa un standard en la industria pero en algunas ocasiones resulta muy exigido para plantas químicas.

Por ello en la Tabla (2) se presentan algunas modificaciones del método de Z-N para el controlador PID.

TABLA 2. MÉTODO DE AJUSTE ORIGINAL PROPUESTO POR ZIEGLER-NICHOLS

controlador	K_c	τ_I	τ_D
PID	$K_u/1.7$	$T_u/2$	$T_u/8$
PI	$K_u/2.2$	$T_u/1.2$	
P	$K_u/2$		

TABLA 3. MODIFICACIONES DEL MÉTODO DE Z-N PARA EL CONTROLADOR PID

Controlador	K_C	τ_I	τ_D
Original	$0.6 K_U$	$T_u / 2$	$T_u / 8$
Algo de sobre valor	$0.33 K_U$	$T_u / 2$	$T_u / 3$
Sin sobre valor	$0.2 K_U$	$T_u / 3$	$T_u / 2$

En la Tabla (4) se muestra una comparación entre el ajuste original propuesto por Z-N y el de Cohen Coon, donde puede verse que éste último presenta valores más conservadores.

TABLA 4. COMPARACIÓN ENTRE EL AJUSTE ORIGINAL PROPUESTO POR Z-N Y EL DE COHEN COON

Controlador	Ziegler-Nichols	Cohen-Coon
Proporcional	$KK_c = \left(\frac{\tau}{\theta}\right)$	$KK_c = \left(\frac{\tau}{\theta}\right) + \frac{1}{3}$
Proporcional + Integral	$KK_c = 0.9 \left(\frac{\tau}{\theta}\right)$ $\frac{\tau_i}{\tau} = 3.33 \left(\frac{\theta}{\tau}\right)$	$KK_c = 0.9 \left(\frac{\tau}{\theta}\right) + 0.083$ $\frac{\tau_i}{\tau} = \frac{\theta \left[3.33 + 0.33 \left(\frac{\theta}{\tau}\right) \right]}{1.0 + 2.2 \left(\frac{\theta}{\tau}\right)}$
Proporcional + Integral + Derivativo	$KK_c = 1.2 \left(\frac{\tau}{\theta}\right)$ $\frac{\tau_i}{\tau} = 2.0 \left(\frac{\theta}{\tau}\right)$ $\frac{\tau_d}{\tau} = 0.5 \left(\frac{\theta}{\tau}\right)$	$KK_c = 1.35 \left(\frac{\tau}{\theta}\right) + 0.270$ $\frac{\tau_i}{\tau} = \frac{\theta \left[32 + 6 \left(\frac{\theta}{\tau}\right) \right]}{13 + 8 \left(\frac{\theta}{\tau}\right)}$ $\frac{\tau_d}{\tau} = \frac{0.37 \left(\frac{\theta}{\tau}\right)}{1.0 + 0.2 \left(\frac{\theta}{\tau}\right)}$

Resumen del efecto de los parámetros de ajuste

1. K_C es inversamente proporcional a K_P
2. K_C decrece a medida que θ / τ crece
3. τ_I y τ_D crecen a medida que θ / τ crece (típicamente $\tau_D = 0.25 \tau_I$)
4. Reducir K, cuando se agrega más acción integral; crece K, cuando se agrega más acción derivativa
5. Para reducir las oscilaciones, decrece K_C y crece τ_I

Desventajas de las Correlaciones de ajuste

1. Se ignoran las Interacciones (decrecen los límites de estabilidad)

2. Los modelos de primer orden + retardo pueden ser inexactos
3. K_P , τ pueden variar
4. Los errores de medición disminuyen los márgenes de estabilidad
5. $\frac{1}{4}$ de la relación de decaimiento puede no ser un standard conservativo (muy oscilatorio).

Históricamente, ya las primeras estructuras de control usaban las ideas del control PID. Sin embargo, no fue hasta el trabajo de Minorsky de 1922, sobre conducción de barcos, que el control PID cobró verdadera importancia teórica.

Hoy en día, a pesar de la abundancia de sofisticadas herramientas y métodos avanzados de control, el controlador PID es aún el más ampliamente utilizado en la industria moderna, controlando más del 95% de los procesos industriales en lazo cerrado.

6. SOLUCIÓN AL PROBELMA

En la sección de anexos esta el brochure de la familia de PLCs twido, Premium y Quantum, la compañía telemecanique ofreció un autómata de la familia deseada luego de una adquisición numerosa de PLCs y partes que distribuye la filial de esa compañía en Colombia; revisadas las características de cada una de las familias la decisión de contar con el de tecnología más reciente, el que tuviera aplicaciones probadas en industrias alimenticias & químicas, módulos análogo-digitales, PID auto sintonizable, memoria capaz de guardar una copia interna de su programa así como módulos de comunicación propios, inclino la balanza hacia el modelo QUANTUM. Ésta familia igualmente tiene su propio modulo de alimentación adaptable a la configuración de los tableros de control y diferentes módulos discretos, analógicos, específicos y de comunicación que pueden ser agregados para programar la estrategia de proceso de control.

En la sección 4.3 se mencionaron los sistemas en los que se divide la maquina lavadora de botellas Barry-Wehmiller, algunos como el sistema de prerinse ó el sistema de transmisión interna son una parte de la maquina en la que no actúa directamente un sensor o hay un proceso para ser llevado, entonces no se mencionan, en las demás tenemos a continuación una caracterización, de su funcionamiento y una descripción del proceso a modelar.

El marco teórico menciona algunas alternativas de sensores y sus modos de funcionamiento, éstos pueden ser utilizadas en los procesos de la maquina y en la caracterización respectiva, se menciona el tipo que se utiliza así como la razón por la cual fue usada.

6.1 SISTEMA DE CARGUE

La función principal del sistema de cargue es recoger las botellas de una mesa de acumulación para luego introducirlas en los bolsillos de la lavadora, de una manera suave continua y sincronizada.

Al entrar las botellas a la mesa un conjunto de cadenas “table top” en acero inoxidable, que se deslizan sobre guías metálicas, correctamente aseguradas por una estructura de platinas y laminas de acero, alimentando continuamente la zona de carga con suficientes botellas; al llegar estas con

demasiada presión son distribuidas por los “aliviadores de presión” permitiendo guiarse fácilmente hacia los “agitadores” que realizan la función de alinear las botellas sin dificultad de guías rectas.

Estas guías pueden removerse para manejo de botellas con más diámetro. Están dispuestas de manera que guían la botella hasta el sistema introductivo de la lavadora.

El accionamiento de la mesa por acumulación es intermitente, para antes de que una fila de botellas se eleve con el sistema de “brazos elevadores” y vuelve a funcionar después de abandonar la longitud de la botella introducida. Esto es realizado por un sensor inductivo ubicado en el final del eje de brazos elevadores.

Las botellas al ser impulsadas por el brazo elevador en la rampa de elevación, llegan hasta cierto punto donde son abandonadas, en ese instante son introducidas completamente por el “perfil empujador de botellas” en el interior de los bolsillos portabotellas de la lavadora.

6.1.1 Acondicionamiento de la mesa de cargue

El sistema de introducción de botellas está dividido en cuatro partes:

- **Transmisión de mesa de botellas:** Se utiliza un motor reductor acoplado al eje directamente, permite llevar las botellas hacia las guías de enfilamiento, su velocidad se encuentra regulada por un variador de frecuencia.
- **Mecanismo de agitación:** Se realiza con un motor reductor instalado en el lado izquierdo de la mesa. Se encuentra acoplado al eje de agitación mediante un mecanismo excéntrico, tipo manivela biela, que produce la oscilación.

Si en un momento dado se requiere más o menos oscilación, la excéntrica tiene varios agujeros hacia la periferia, o hacia el centro de esta, permitiendo la variación de la oscilación. La velocidad de oscilación se encuentra controlada por un variador de frecuencia.

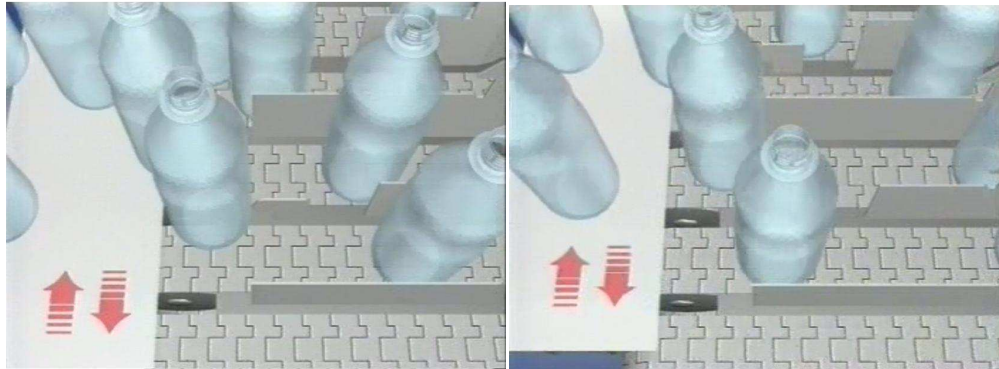


Figura 14. Mesa de Carga

- **Mecanismo de introducción de botellas:**

Este mecanismo esta sincronizado con la lavadora de botellas, viene directamente del motor reductor principal de la maquina.

El eje de brazos elevadores de botellas tiene acoplado al lado izquierdo un embrague sincrónico tipo balón que protege el mecanismo de introducción de botellas contra sobrecargas, desconectando el accionamiento en caso de alguna perturbación.

- **Mecanismo de introducción de botellas :**

El embrague se encuentra conectado por la transmisión de cadena a un motor reductor especial que repone el embrague; cuando se realiza una sobrecarga y hay señal de de disparo embrague en la pantalla de visualización de la mesa de carga, el operario deberá observar en la botonera de control dos pulsadores, uno que indica hacia arriba y el otro que indica hacia abajo, pulsar el que sea adecuado para realizar la reposición del embrague, después de haber retirado los elementos que realizaron la perturbación.

En el lado derecho del eje de brazos elevadores se encuentra acoplado un engranaje recto que transmite el movimiento al mecanismo oscilante del perfil empujador de botellas, mecanismo biela-manivela realizando el empuje de botellas, introduciéndolas en las canastas portabotellas.

6.1.2 Sincronismo mesa de cargue

Para sincronizar el mecanismo existe una transmisión por cadena (1) entre el indexador (2) y el embrague o clutch en el eje de brazos elevadores (3), al desempatar la cadena se permite mover libremente el eje y posicionar los brazos elevadores en el punto exacto de sincronismo.

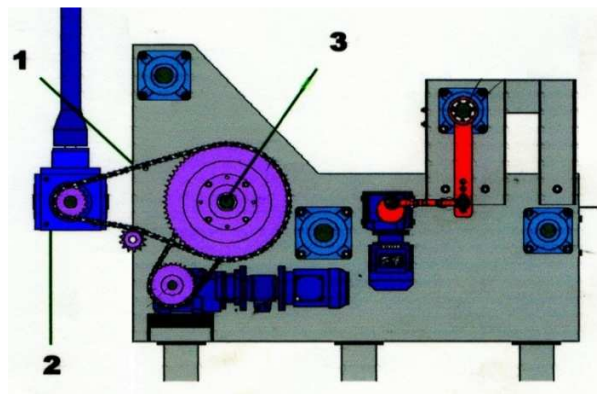


Figura 15. Mesa de cargue

La Posición de sincronismo está dispuesta cuando el brazo elevador de botellas (4) suelta la botella y el perfil empujador (5) se encuentra detrás de la botella para terminar la acción de introducción en la canasta portabotellas (6).

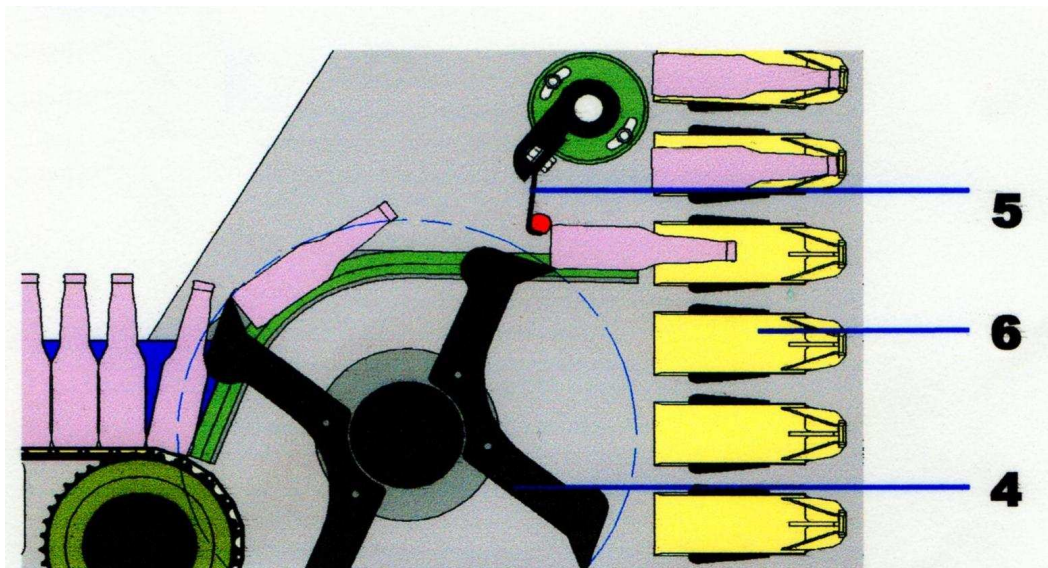


Figura 16. Vista interna mesa de cargue

La sincronización del mecanismo externo tiene que ver con el mecanismo Biela-Manivela del lado derecho. El perfil empujador (5) debe estar en la posición que muestra la figura (16), mientras que la manivela (7) en el lado externo debe encontrarse alineada con la biela (8) en su posición más larga, ver figura (). Para realizar ajustes de temporizar exactamente el mecanismo es necesario mover el piñón de engranaje donde se encuentra instalada la manivela (7).

SEGURIDAD Y ALARMAS

Atención a la marcha inercial de la máquina

La maquina está equipada con diversos interruptores de emergencia.

La activación de un interruptor de emergencia no significa que la maquina se detiene inmediatamente, pues todas las maquinas tienen cierta marcha inercial.

Marcha inercial significa que tras pulsar el interruptor de emergencia, tarda un momento hasta que todas las partes móviles de la lavadora se detienen.

Atención a las señales de alarma

Si una maquina se detiene durante el funcionamiento, este hecho se indica ópticamente mediante una balisa ubicada en la parte superior de la maquina.

La lavadora de botellas tiene un dispositivo de protección automático.

La lavadora de botellas de detiene automáticamente en caso de:

- Sobrecarga
- Atascamiento de botellas
- Parada de emergencia
- Atascamiento en la salida de la lavadora

Significado de las señales ópticas

En caso de avería se producen dos diferentes señales luminosas (señales ópticas)

- **Luz permanente:** Significa que hay una avería y que la maquina esta fuera de servicio.
- **Luz intermitente:** Significa que la avería ha sido subsanada y que se puede poner en marcha la máquina.

DESCRIPCION ELÉCTRICA DEL PROCESO

La función principal de un sistema de cargue es recoger las botellas en una mesa de cargue sobre la cual se produce una acumulación de botellas, para posteriormente introducirlas en los bolsillos de la lavadora, de una manera suave, continua y sincronizada.

Al entrar las botellas a la mesa, un conjunto de cadenas (table top) en acero inoxidable, que se deslizan sobre guías metálicas alimentan continuamente la cargadora con suficientes botellas; la velocidad de esta mesa es controlada por un variador de velocidad ATV31, en la estación de mando del cargue el operario cuenta con una llave de tres posiciones con las siguientes opciones: Automático – Apagado – Manual.



Figura 16. Estación de mando del cargue

El accionamiento de esta mesa de cargue por acumulación es intermitente, la finalidad es que se detenga antes de que una fila de botellas se eleve con el

sistema de “brazos elevadores” y vuelve a funcionar después de abandonar la longitud de botella introducida.

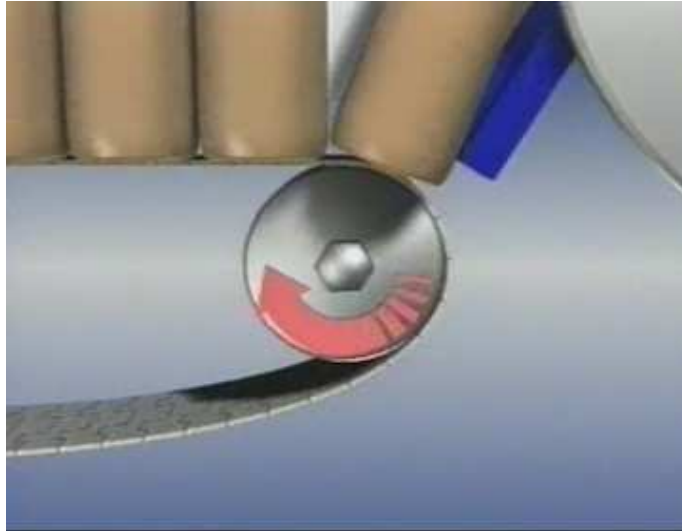


Figura 17. Variación de velocidad mesa de cargue

Esto es realizado por un sensor inductivo ubicado en el final del eje de brazos elevadores. El sensor ayuda a la presión y hace que la mesa no trabaje constantemente sino que hace paradas, al llegar estas con demasiada presión son distribuidas por los “aliviadores de presión” o eje agitado permitiendo guiarse fácilmente realizando la función de alinear botellas sin dificultad en guías rectas.

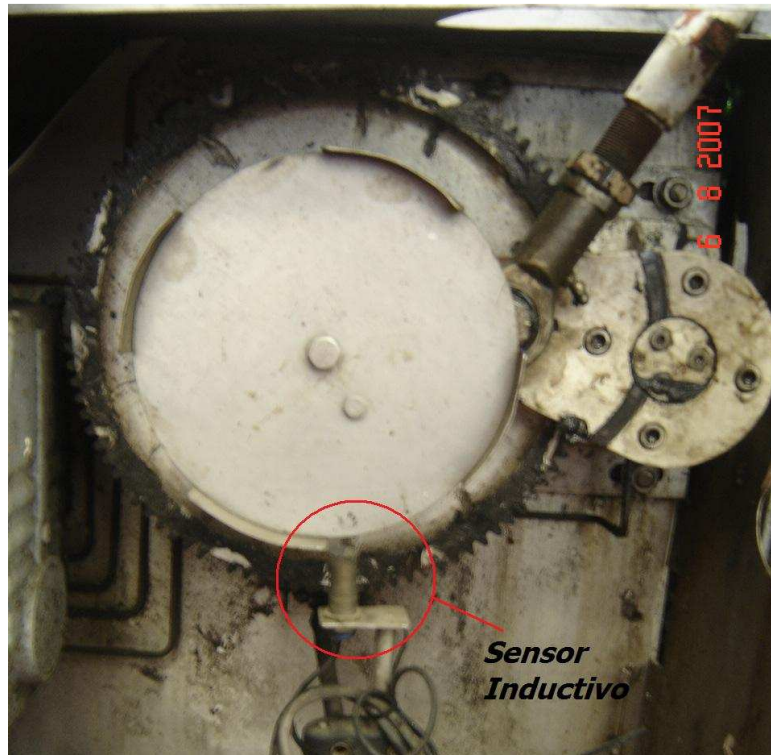


Figura 18. Sensor indicador de la variación de velocidad de la mesa de cargue

La velocidad de este agitador también es controlada por un variador de velocidad ATV31, las guías del agitador pueden removerse para manejo de botellas con más diámetro. Están dispuestas de manera que guían la botella hasta el sistema de introducción de botella a la lavadora.

Este motor siempre esta encendido a no ser que la mesa este apagada. El comportamiento de la velocidad de las botellas puede describirse con la siguiente gráfica, donde la línea punteada es la velocidad nominal; mientras la placa ubicada al final del disco genere señal en el sensor inductivo, el variador indicara al motor que alcance su velocidad nominal, pero cuando en sensor inductivo tenga un estado bajo al no tener una placa es su proximidad procurará frenar el motor paulatinamente causando una desaceleración en el transportador que aliviara de presión a las botellas próximas a subir a los respectivos bolsillos de la cadena viajera de la maquina lavadora de botellas.

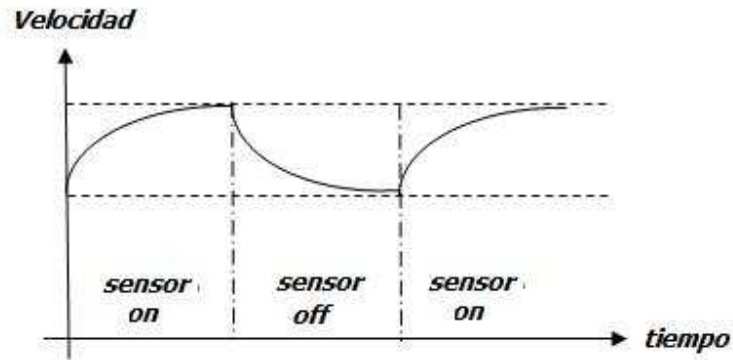


Figura 19. Descripción de la velocidad de la mesa de carga

Las botellas al ser impulsadas por el brazo elevador en la rampa de elevación, llegan hasta cierto punto donde son introducidas completamente por el “perfil empujador de botellas” en el interior de los bolsillos portabotellas de la lavadora.

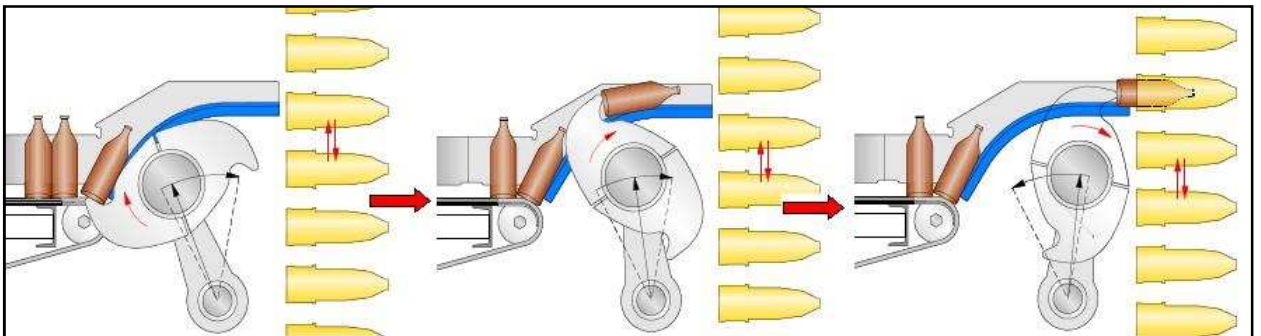


Figura 20. Perfil empujador de botellas

El sistema de carga posee un embrague que se encuentra monitoreado por un sensor inductivo, en el momento de haber un atranque el embrague se dispara y el sensor inductivo debe hacer para el sistema de la lavadora, en la estación de carga el operario tiene dos pulsadores pilotos para cuando esto sucede realizar la operación que realiza la reposición de la maquina esto puede ser hacia adelante (botón adelante) o hacia atrás (botón atrás) esa función es controlada mediante el variador de velocidad ATV31 que tiene este motor. Cuando el sistema está de nuevo habilitado, se debe dar arranque automático en el cargue de la lavadora.



Figura 21. Botones del embrague

El contactor del rectificador debe operar en el momento en que el sensor del embrague se activa y el contactor que se encuentra con los contactos del freno y clic opera solo cuando se pulsa marcha adelante o marca atrás, por que el freno se deshabilita y el clutch actúa solo hasta que el sensor deje de enviar señal, en el momento que le embrague queda en posición normal, ambos contactores quedan deshabilitados.

En cuando a la alimentación requerida por los variadores (24 Volts DC) requeridos en la línea de envase 1 para la mesa de cargue, agitador y el motor de embrague hay interfaces instaladas en los tableros de control para cada una de las respectivas señales.

6.2 SISTEMA DE PRERINSE

Es una etapa de la cadena donde las botellas viajan en el aire boca abajo y donde cualquier residuo sólido puede precipitarse por gravedad, las botellas luego entran a un tanque de “remojo” antes de pasar a los tanques de soda.

6.3 SISTEMA TANQUES DE SODA

Los tanques 2 a 5 son la parte más crítica del proceso de lavado de botellas, la función de cada uno de los tanques es mantener las características alcalinas de la solución detergente (soda cáustica) y temperatura, para aflojar y disolver el pegante de las etiquetas, removiendo todos los residuos de

mugre y cerveza remanentes de contaminación microbiológica dentro de las botellas, las etiquetas se van depositando en el fondo del tanque para ser extraídas de la solución mediante acción del sistema de extracción de etiquetas.

Las partes que no se han nombrado en este sistema son:

Serpentines de vapor (tanques 2 al 5).

Controlador de nivel (visual) para la solución lavadora.

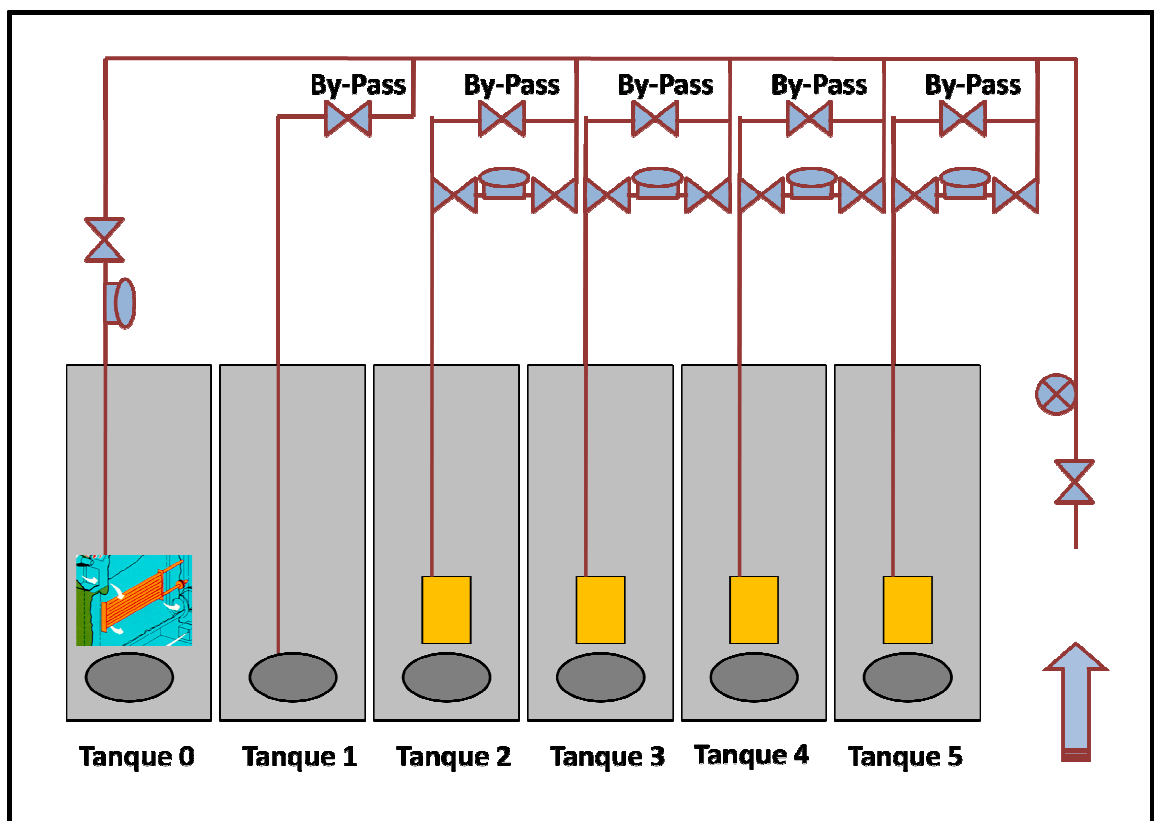


Figura 22. Sistema de control automático de temperatura y de concentración de soda cáustica.

La concentración de soda, al igual que la temperatura va aumentando a través de los tanques.

DESCRIPCION ELÉCTRICA DEL PROCESO

La función de los tanques de soda es mantener sus condiciones de nivel, alcalinidad con solución detergente y temperatura, las botellas se van desplazando a medida que la cadena viajera se mueve y las hace recorrer progresivamente cada uno de los tanques, donde unos sensores monitorean el estado de dos de las variables mencionadas.

El comportamiento de la concentración de soda cáustica no es el reflejo de una función conocida, se han hecho intentos por automatizar el control de esta variable y los intentos no han tenido éxito, por consiguiente aún es función de un operario estar atento a los cambios que se pueden presentar con el tiempo, sin embargo añadir la solución para conservar el mínimo de concentración requerida, es una tarea que se hace manualmente a través de una bomba que inyecta directamente sobre la maquina la dosis de soda que a través de la experiencia y el entrenamiento el operario ha cuantificado, por esta razón debemos tener en el tablero de control un pulsador que esté atento a ejecutar la tarea de accionar la denominada bomba de soda cáustica, sin afectar el proceso.



Figura 23. Bomba de soda cáustica

Los tanques de la maquina tienen un nivel máximo donde la solución presente se podría unificar haciendo aun más difícil la tarea de controlar

condiciones diferentes para diferentes etapas en el proceso de lavado, por consiguiente cada tanque crítico –en este caso los tanques con solución de soda cáustica- tiene un sensor de nivel que genera una señal cuando se ha alcanzado un tope máximo haciendo que el autómata emita una señal para ejecutar una acción que restablezca el requerimiento del contenido en el tanque. Ésta señal activa una válvula que hace un bypass del tanque garantizando que el nivel se mantenga. Si por el contrario el nivel del tanque no es el mínimo, se debe encender la bomba de agua y abrir las ó las válvulas de los tanques que están sin llenar hasta alcanzar su nivel mínimo de trabajo.

Del análisis de la solución al reto anteriormente expuesto, surgen dudas sobre el tipo de sensor a utilizar, las condiciones de la solución, la manera de hacer el control y los sensores utilizados con el mismo objetivo pero en diferentes procesos dentro de la planta hacían pensar en las probabilidades y surgieron alternativas:

- Cámara de visión
- Sensor radiactivo
- Sensor fotoeléctrico Osiris XUM-W
- Sistema RFID
- Sensor de presión

Dentro de la empresa el ruido y la vibración mecánica hacen que las alternativas capacitivas sean las de menor viabilidad, una celda fotoeléctrica en el interior de un tanque con soda es un elemento que requiere un mantenimiento y atención bastante especiales, el acople de un medidor proporcional con flotador para hacer que éste haga contacto con un sensor inductivo en el nivel deseado del tanque resulta una alternativa rústica y que no corresponde al nivel de automatización que se pretende, entonces la experiencia de los tanques de maduración de la parte de cocinas (Unitanques) nos da la mejor alternativa, aquí un sensor de presión nos da una señal análoga proporcional al nivel de altura alcanzado por el líquido, se puede seleccionar una ventana o un rango y el PLC puede ejecutar la acción de vaciar ó llenar con salida análoga de acuerdo al estado del rango de presión medido

Para monitorear continuamente la otra condición crítica en los tanques - temperatura- las opciones de sensores se reducen y el objetivo es entender la forma en que funciona el sensor con el que opera la máquina.

El sensor *Omnigram TR44* en acople al transmisor *HART TMT 182* se puede programar para brindar una señal de entre 4 y 20mA proporcional a un rango de temperatura establecido, en este caso tenemos dicho rango entre 0 y 100°C. Esta señal análoga de 4 a 20 mA será la entrada al modulo PID acoplado al PLC que controlara el comportamiento de esta etapa del lavado de las botellas.

El modulo *B88 4-002* que consta de dos controles PID independientes que tienen como entrada la señal de 4 a 20 mA proveniente de los transmisores *HART TMT 182* conectados a los sensores RTD *Omnigrand TR44* de los tanques 2,3,4,5, realiza la acción de control mediante modelo de Ziegler-Nichols.

Los parámetros iniciales de programación para el control PID se hallaron mediante pruebas hechas en lazo abierto y el modulo en configuración “autotuning” para mejora de estos parámetros y un funcionamiento óptimo.

Entre los anexos esta enunciado el principio de funcionamiento de el sensor de presión utilizado para medir el nivel de los tanques, en resumen la señal análoga de medida de presión se proporciona en un rango de 0 a 100 donde 0 es el tanque vacío y 100 es el valor de presión de la altura máxima del tanque, se selecciona una ventana de funcionamiento y el PLC envía señal a la bomba respectiva para llenar el tanque o vaciarlo según sea el caso, de esta manera tenemos que el sensor de nivel se encarga de mantener el nivel y el modulo *B88 4-002* se encarga de mantener la temperatura en los tanques.

Si la temperatura en alguno de los tanques, se encuentra por debajo de la condición mínima, la señal del PLC genera una salida análoga de entre 4 y 20 mA generada por el modulo PID acoplado al PLC que llega a una interfaz de presión (IP) que hace la transducción a una válvula que controla el paso de vapor cuya apertura es proporcional a la magnitud de la corriente de salida del PLC, el vapor fluye a través de la válvula hacia un calderín ubicado en el interior de los tanques y que genera un intercambio capaz de elevar ó mantener la temperatura en el interior del tanque.



Figura 24. Válvula proporcional de paso de vapor samson con IP (interfaz de presión)

6.4 SISTEMA DE TANGUES DE AGUA

Este es un sistema de tanques por los que pasa la botella por la cadena viajera, el nivel de concentración de soda está presente en los primeros tanques por arrastre de solución presente en los bolsillos portabotella así como en las paredes de la botella, en los tanques finales tenemos la botella sin solución de soda y lista para la etapa de enjuague.

Ellos están interconectados y un par de sensores de presión se encargan de mantener el nivel en su interior.

6.5 SISTEMA COCHE DE ENJUAGUE



Figura 25. Coche de enjuague

Después del lavado con soda cáustica la botella es sometida a unos chorros de agua de acueducto. Dicho sistema está compuesto por:

1. Bombas de inyección de agua.
2. Tanques.
3. Sistema de duchas giratorias y fijas.
4. Sistema de filtros.

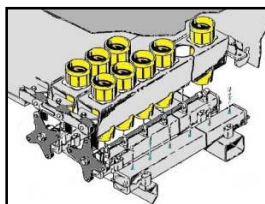


Figura 26. Soporte del coche de enjuague

Válvula de intermitencia: Válvula neumática del tipo on-off, restringe la salida de agua fresca para que solamente salga agua cuando el coche está arriba, de esta manera se economiza y se permite que escurra el agua.

Válvula economizadora: Válvula de corte, su función es suspender la entrada de agua a los chorros de agua cuando la maquina esta parada.

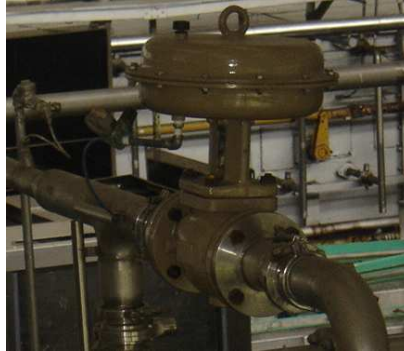


Figura 27. Válvula de intermitencia on off

DESCRIPCION ELÉCTRICA DEL PROCESO

Luego del paso por los tanques de soda y agua, las botellas pasan por una etapa donde chorros dirigidos a su exterior e interior completan la labor de limpieza, la dirección de los chorros está dada por el acople mecánico de las partes de la maquina, cuyo paso está restringido por una válvula economizadora que se acciona por un par de sensores que indican cuando el coche de enjuague se encuentra posicionado y listo para recibir el enjuague de los chorros mencionados, la bomba impulsadora de agua, y el motor que genera el movimiento del coche de enjuague operan mientras la maquina este en funcionamiento; en caso de una parada por cualquier motivo el motor y la bomba se detendrán, y la válvula economizadora junto con la válvula on/off serán cerradas.



Figura 28. Chorros de agua exteriores e interiores y válvula de intermitencia

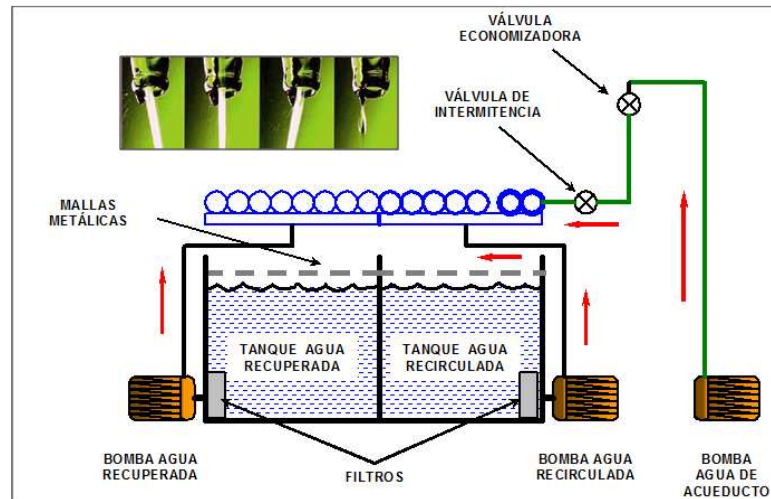


Figura 29. Vista transversal del coche de enjuague

El agua del proceso se recupera en un tanque ubicado en el fondo de la maquina, donde es filtrada y posteriormente impulsada mediante una bomba hacia la etapa de pasteurizado de las botellas llenas. La bomba es controlada por señal de control del PLC de la lavadora y funciona si el nivel del tanque supera la condición mínima.

La válvula on/off a diferencia de las válvulas de la etapa de soda, opera solamente en modo abierto-cerrado de acuerdo a la señal en su entrada proveniente de una salida del PLC.

6.6 SISTEMA DE DESCARGA

La salida de las botellas se realiza por gravedad mediante elementos de rotación de material acero (gavilán), el cual lleva instalado un amortiguador plástico, que las entrega al transportador de salida suavemente de forma sincronizada en un solo movimiento continuo. Este sistema se compone de:

- **Platina recibidora:** Es la encargada de recibir las botellas que salen por gravedad del bolsillo plástico y llevarlas a la platina de entrega.
- **Platina de entrega:** Su función principal es entregar uniformemente las botellas a las levas rotativas; su movimiento es oscilante y sincronizado con la rotación de las levas.
- **Eje de levas rotativas:** Maneja las botellas desde la platina de entrega a las guías estáticas de salida. Por cada vuelta del eje de levas recibe dos

botellas lo que implica un manejo lento y suave de las mismas pero garantizando un alto rendimiento en la evacuación de la maquina.

- **Automático de descargue:** El eje que transmite movimiento a las levas posee un embrague a través del cual se detiene la maquina cuando se presenta un atranque. Posee un sensor inductivo que detiene la marcha de la maquina y envía una señal visual al mímico de la descarga cuando existe un atasque de botellas.
- **Guías de caída:** Encargada de apoyar lateralmente las botellas en su caída a las guías estáticas de salida, estas guías están recubiertas con material plástico para protección de la parte exterior de las botellas y evitar el deterioro del pirograbado.
- **Bandeja colectora:** Es la encargada de recibir el agua arrastrada por las canastas y botellas a ambos costados de la maquina, evitando así, la contaminación de las botellas en el momento de su entrega al transportador.
- **Guías de salida:** Recibe las botellas y las conduce al transportador de salida.
- **Golpeador de botellas:** Es una platina protegida con un plástico cuyo movimiento esta sincronizado con las canastas portabotellas. Su función es golpear suavemente el pico de la botella para sacarla del bolsillo y evitar rotura y atascamiento.
- **Barra señal de respaldo:** Esta conectada mecánicamente al respaldo recibidor de botellas. Su función es desatascar o eliminar obstrucciones manualmente por el operario. En cada extremo de las guías de caída se encuentra un sensor inductivo con autonomía para detener la maquina y enviar una señal visual al mímico ubicado en la descarga de la lavadora en caso de un atranque de botellas.

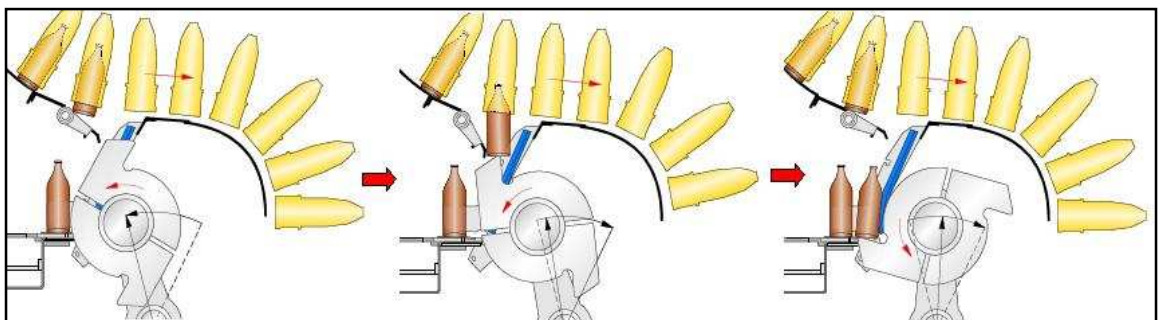


Figura 30. Descripción descarga de botellas

DESCRIPCION ELÉCTRICA DEL PROCESO

La descarga es comandada desde un tablero ubicado en esta sección donde se visualiza la operación de los mecanismos de la misma y gobernada el PLC ubicado en el tablero de control; la descarga consta de dos cilindros neumáticos para la activación de los espaldares, izquierdo y derecho, el accionamiento de estos es por medio de sensores inductivos que le envían la señal al PLC de la lavadora indicando una falla en el sistema de salida de botellas, estos sensores se encuentran continuamente sensando el cilindro, en el momento en que una botella pierda la posición normal este sensor pierde la ubicación del cilindro y es cuando se detiene la descarga, un indicador en el tablero de control visualiza la falla del cilindro y hace que el operario realice la actividad correspondiente para solucionar este inconveniente. Para la reposición de cualquiera de estos dos cilindros neumáticos, el operario encuentra en el tablero dos pulsadores para accionar tanto el espaldar derecho como el izquierdo, estos se pueden accionar dependiendo sea el caso, el cilindro disparado se determina por medio de un piloto indicador ubicado en el mismo tablero. Para continuar la marcha de la maquina debe realizarse un “reset” de falla, y reponer la operación normal de la maquina desde el tablero principal ubicado en la mesa de cargue de la maquina lavadora de botellas.

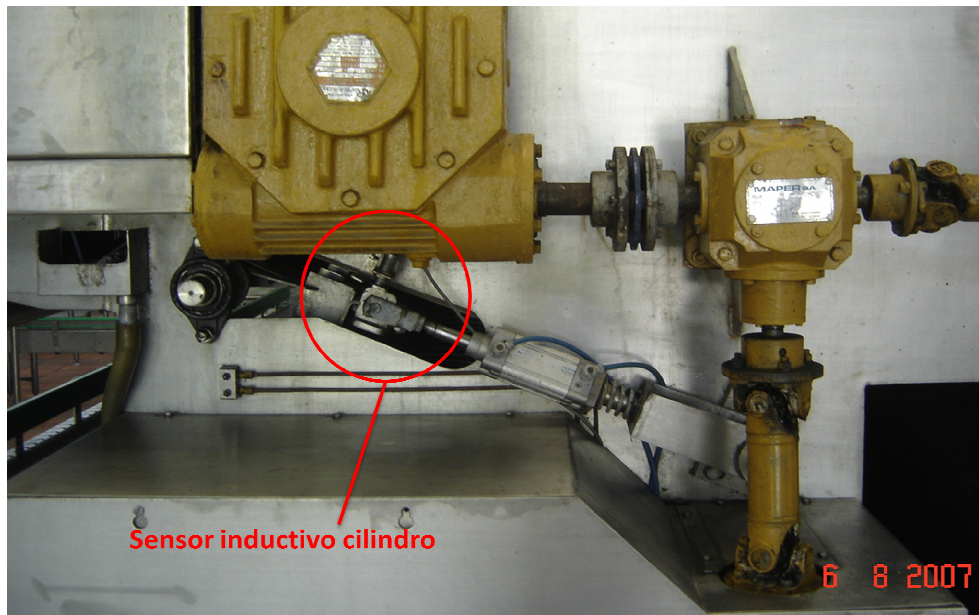


Figura 31. Sensor inductivo cilindro

Un eje de levas en la punta se encuentra engranado al sistema por un mecanismo de embrague sincrónico que permite protegerlo. Cuando por efectos de atascamiento de botellas se desembraga este mecanismo, se envía una señal por medio de un sensor inductivo ubicado en el embrague, indicando una falla en el sistema, que se visualiza a través de una señal luminosa ubicada en el tablero de descarga. Para reponer el embrague sincrónico existe un mecanismo de reposición en la maquina, acoplado a un motor manejado por un variador de velocidad. Para reponer el embrague existe una llave en el tablero de descarga; esta mueve le motor hacia adelante un cuarto de revolución y embraga de nuevo, para eliminar la falla hay necesidad de realizar un “reset” de falla y reponer la operación normal de la maquina desde el tablero principal ubicado en la mesa del cargue.

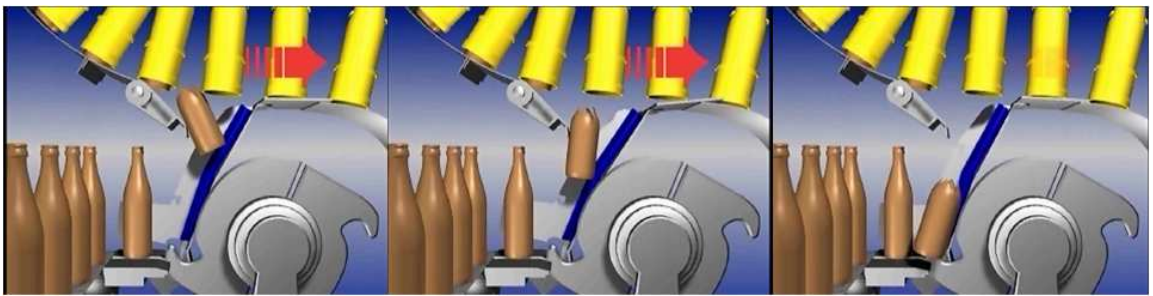


Figura 32. Detalle del cargue de botellas

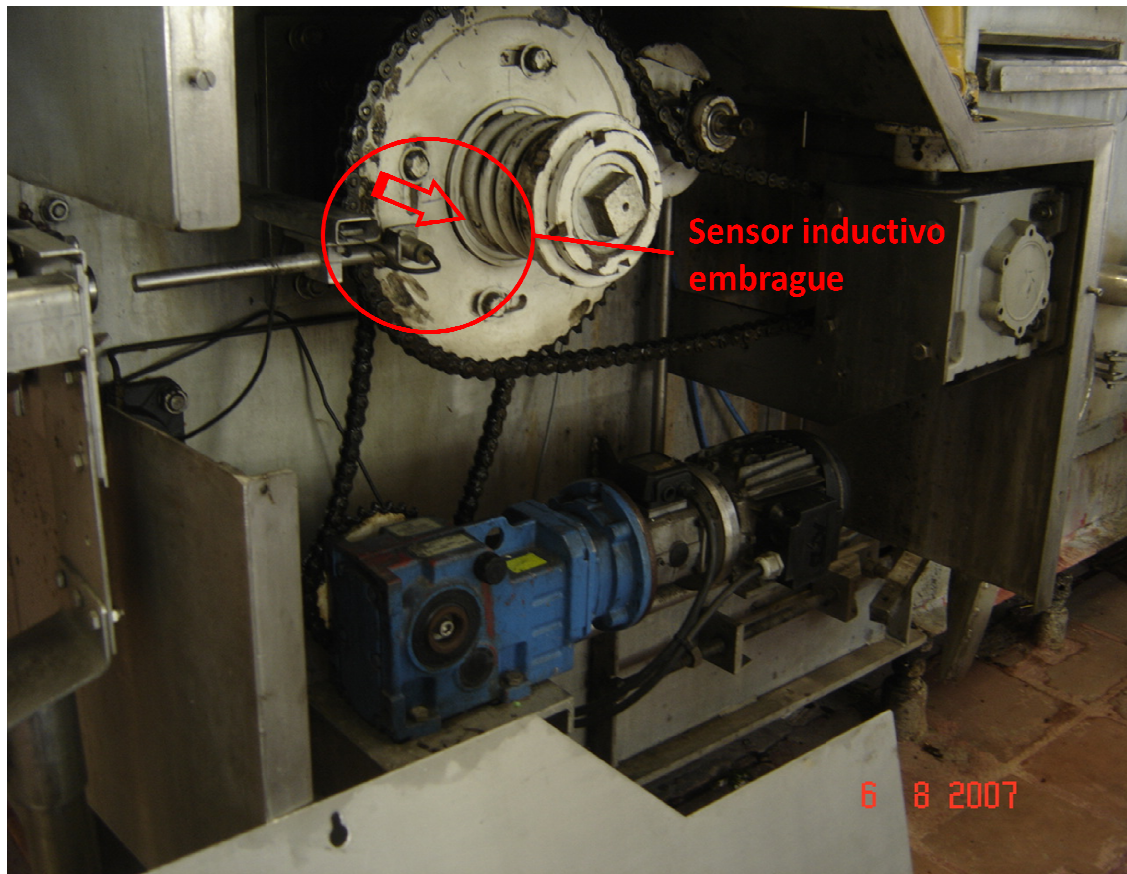


Figura 33. Sensor inductivo embrague

Cuando una botella hace que el esfuerzo en la descarga supere la condición normal, este se desacopla y se sale de su posición, al hacer esto se acerca a sensor inductivo que detecta su presencia y envía señal indicando problemas en el embrague de la descarga.

6.7 SISTEMA DE TRANSMISION

El sistema de transmisión está conformado por un conjunto motor ATB de 7.5 KW a 2,75 amperios con variador de velocidad de 1430 rpm, el cual conectado mecánicamente al reductor RAMHE referencia RSISSN1B3 1800/45 rpm transmite el movimiento a toda la maquina a una velocidad adecuada, mediante una cadena articulada y acoplada a un embrague mecánico de seguridad que actúa desacoplando mecánicamente el motoreductor cuando existe un atranque en la lavadora.



Figura 34. Motor y la transmisión de la máquina lavadora de botellas

El embrague está conectado a un sistema de ejes cardánicos que son los responsables de transmitir el movimiento a las cajas reductoras ubicadas en la parte media de la maquina, cada caja reductora transmite movimiento por medio de dos cadenas articuladas a dos conjuntos de transmisión de movimiento, conformado cada uno por un piñón conducido externo, un eje transversal, dos catalinas externas y chumaceras instaladas a cada extremo del eje.



Figura 35. Cadena viajera

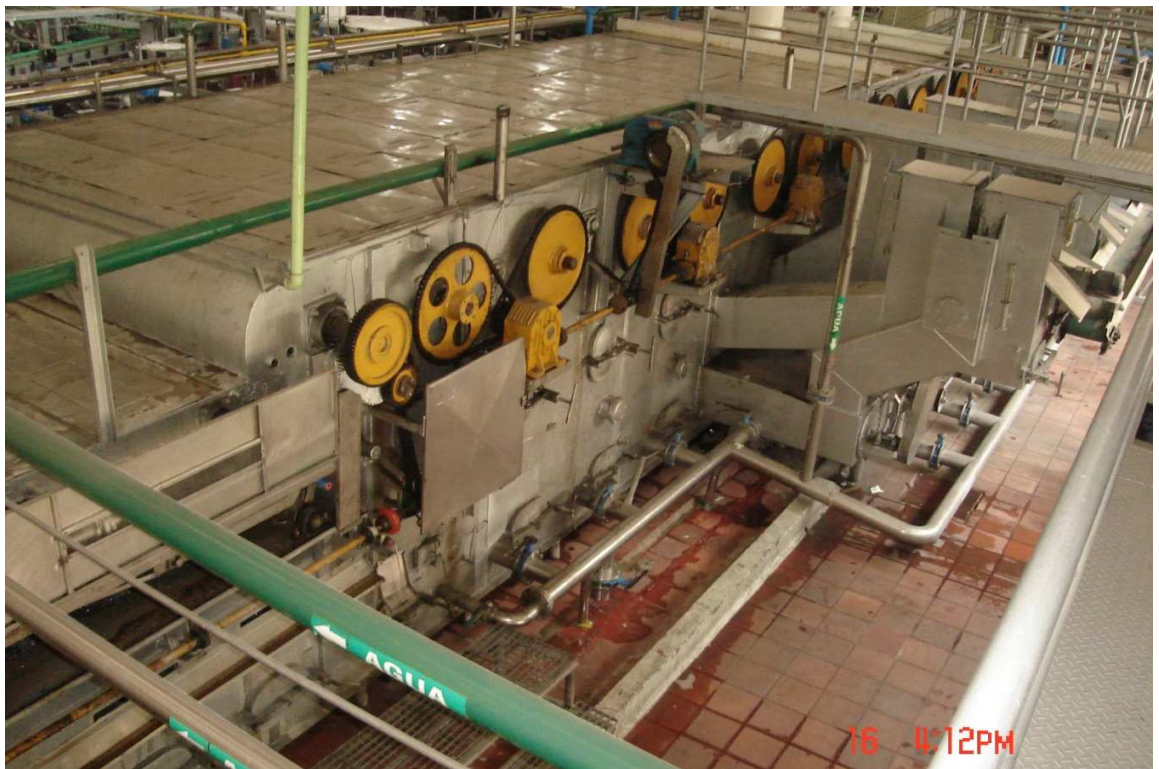


Figura 36. Sistema de transmisión de la maquina lavadora de botellas

Las dos catalinas internas dan movimiento a la cadena portacanastas.

DESCRIPCION ELÉCTRICA DEL PROCESO

El encargado del arranque es el variador de velocidad del motor al cual se le da una señal alta en caso de que se quiera poner en marcha la máquina, si se requiere su detención la misma señal en estado bajo iniciara la secuencia que detiene el movimiento de la cadena viajera .



Figura 37. Variador de velocidad que controla el movimiento del motor principal

6.8 SISTEMA DE TRANSMISION INTERNA

Va de la mano con el sistema de transmisión y es la parte mecánica que hace mover toda la maquina.

6.9 SISTEMA DE EXTRACCION DE ETIQUETAS

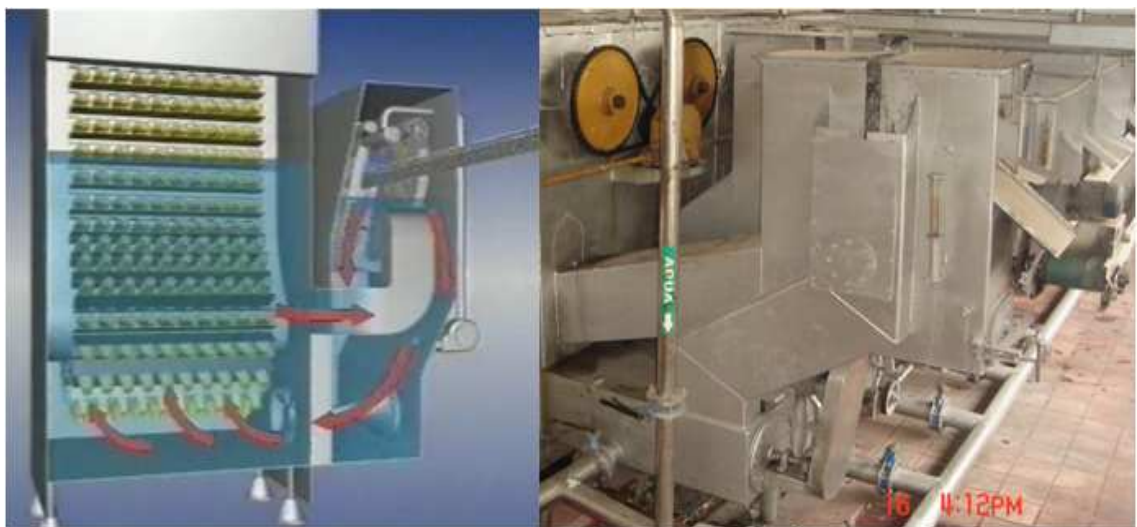


Figura 38. Vista interior y exterior del sistema extractor de etiqueta

El sistema de extracción de etiqueta permite disminuir el arrastre de etiqueta en la lavadora de botellas, y evitando la acumulación de etiquetas en los tanques, está compuesto por:

- **Malla filtrante:** Un sistema de malla automática filtrante acoplada a cadena eslabonada permite el transporte de las etiquetas hacia los ductos de salida al exterior de la máquina. Su construcción es de forma modular para permitir un retiro parcial o total y facilitar las labores de limpieza y mantenimiento.



Figura 39. Malla filtrante

- **Ventilador:** Empleado para facilitar el desprendimiento de las etiquetas de la malla viajera. Potencia estimada 1.2 HP y 1700 RPM.



Figura 40. Ventilador generador de flujo

- **Bomba axial de inyección de soda:** Tipo axial, alto caudal y baja presión con sello mecánico especial doble cara, de una capacidad estimada de 2500 galones por minuto, accionada por transmisión por polea y banda con un motor de 15 HP.



Figura 41. Bomba axial de adición de soda

- **Motorreductor:** Para sistema de Filtración malla viajera, Con una potencia de 0.7 HP.

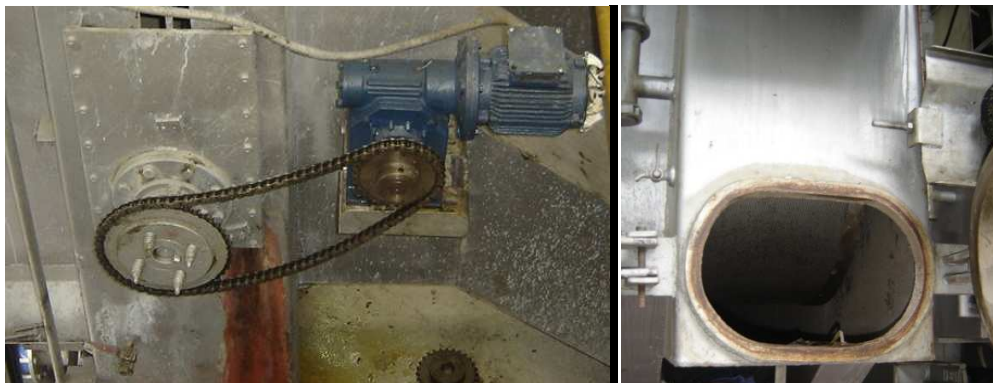


Figura 42. Motoreductor malla etiqueta

- **Tanque separador:** Localizado parte superior, en él la corriente de recirculación comienza su retorno hacia la succión de la bomba.

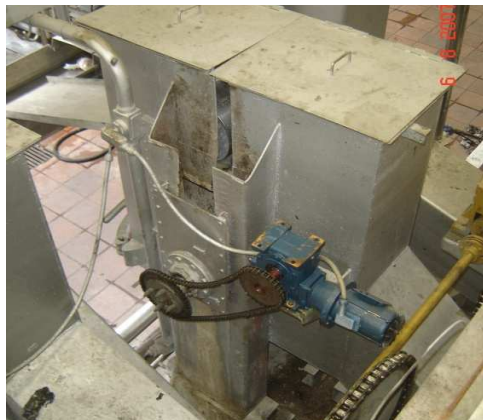


Figura 43. Tanque separador donde se atrapa la etiqueta

- **Ductos de Recirculación:** De sección rectangular de gran tamaño contruidos en lámina de acero al carbono.
- **Transportador de etiquetas:** Empleado para evacuar todas las etiquetas del sistema y llevarlas hasta el compactador de etiquetas.
- **Tapas de inspección:** Permiten realizar la inspección de la malla viajera, realizar mantenimientos y/o reparaciones.

DESCRIPCION ELÉCTRICA DEL PROCESO

Los ventiladores generadores de flujo impulsan la solución con soda hacia la cámara exterior aumentando la turbulencia del liquido en el tanque, este movimiento ayuda a desprender la etiqueta de la botella, debido a la diferencia de los niveles de liquido entre las cámaras interior y exterior se crea una corriente de flujo que permite que las etiquetas sean llevadas a la primera.

Una cinta extractora recoge las etiquetas sueltas y asciende hasta salir del baño de soda, para quedar atrapadas en un tambor rotatorio y ser finalmente entregadas a la cinta tamizadora que las transporta a un contenedor donde se acumulan antes de ser llevadas a una maquina compactadora.



Figura 44. Banda transportadora etiqueta extraída

A pesar de alguna parada de emergencia por mal funcionamiento en algún sistema de la maquina lavadora de botellas, el proceso químico que se pretende con la solución de soda cáustica no se detiene y el flujo de solución para atrapar “pelusa” y etiqueta debe continuar presente en los tanques, por esta razón, los motores que generan dicho flujo y mueven los elementos que extraen etiqueta no deben dejar de actuar; los únicos casos probables para detener el funcionamiento del sistema de extracción de etiqueta son el atascamiento de éstas, detectado por acumulación en el transportador de etiquetas y en ese caso sólo se detiene el movimiento de la banda transportadora, que da paso a un cambio en el tanque donde se almacena la etiqueta extraída, un pulsador da la señal de reinicio, teniendo en cuenta el estado del sensor de acumulación de etiqueta.

6.10 SISTEMA DE CONTROL Y POTENCIA

Como se menciona al inicio de la sección 6 el sistema de control es un PLC de la familia QUANTUM, una de las razones más influyentes en la decisión fue su capacidad para manejar señales análogas y el control PID auto sintonizable que es capaz de recrear.

6.11 SISTEMA DE SUMINISTROS (AGUA, AGUA RECUPERADA, VAPOR)

Son ajenos al proceso de la maquina, pero ellos controlan en gran medida el comportamiento de la maquina lavadora de botellas.

Su labor es tener cada uno de los suministros requeridos listo para ser utilizado en las proporciones requeridas en el momento adecuado.

El agua fresca por ejemplo proviene de la planta de tratamiento de agua de la planta, el vapor proviene de las calderas de la sala de maquinas

El agua recuperada es la resultante del proceso de enjuague final de las botellas, es acumulada en un tanque y antes de ser bombeada pasa por un filtro que remueve partes solidas considerables que pudieran ser removidas en el proceso de enjuague. Pero su control hace parte del sistema de enjuague.

7. DESARROLLO DEL SOFTWARE

Dos programas capaces de hacer funcionar la máquina de acuerdo a la caracterización de cada proceso fueron diseñados, una es la versión automática y la otra manual en ambos casos sin embargo el nivel de automatización y la inherencia del autómata es grande.

El programa utilizado para el diseño y programación del PLC se llama UNITY PRO, la compañía telemecanique al proveer el PLC también proporciona una autorización para el uso a nombre de la compañía que adquiere el autómata. Unity pro es una herramienta que brinda lo mejor de las interfaces gráficas y contextuales de Windows XP® y Windows 2000® permitiéndole tener:

- c Un mejor aprovechamiento del espacio en pantalla.
- c Acceso directo a las herramientas y datos.
- c 100% de configuración gráfica.
- c Iconos y barra de herramientas a la medida.
- c Funciones de zoom y arrastrar - soltar ampliadas.
- c Ventana de diagnóstico integrada.

Unity Pro ofrece de base los cinco lenguajes IEC61131-3. Cada sección de código puede ser programado en el lenguaje que elija. Todas las herramientas de edición, depuración y operación están accesibles cualquiera que fuese el lenguaje que utilice.

- c LD: Ladder Diagram (diagrama escalera).
- c IL: Instructions list (Lista de instrucciones).
- c ST: Structured text (texto estructurado).
- c SFC: Sequential function chart (diagrama secuencial de funciones).
- c FBD: Function block diagram (diagrama de bloque de funciones).

Gracias a los conversores integrados, Unity permite la migración de aplicaciones ya existentes (PL7 y Concept IEC). Esta característica le permite reducir costos de inversión en software y entrenamiento, además de permitirle nuevas funcionalidades, abre las puertas al mundo de la automatización colaborativa.

un completo juego de funciones y herramientas permiten el fácil desarrollo de la aplicación de la máquina o proceso.

La estructura del programa está dividida en módulos que contienen las secciones de programa, configuración, tablas de animación, pantallas de operador, etc. Estos módulos pueden ser organizados de forma tal para componer de manera muy sencilla una “vista funcional” de su máquina o proceso, permitiendo simplificar el diagnóstico, puesta en marcha y mantenimiento de sus aplicaciones.

Las funciones básicas utilizadas en forma repetitiva pueden ser encapsuladas en bloques de función de usuario (DFB) en lenguaje IEC61131-3.

Además con el Unity EFB Toolkit, se puede estandarizar su know-how desarrollando funciones propias en lenguaje C para adicionar a las librerías Unity Pro existentes.

Probado y calificado, sus estándares reducen el desarrollo y el tiempo de instalación en sitio.

- c Módulos de funciones reutilizables en la aplicación o entre productos por medio de exportar/importar en formato XML.

- c Bloque de funciones listas para usar desde la librería.

- c Las instancias DFB pueden heredar en forma automática las modificaciones de la librería (a elección del usuario).

Unity Pro proporciona una librería integrada de DFBs para el diagnóstico de las aplicaciones, que permiten monitorear en forma permanente las condiciones relativas a la seguridad y ejecución del proceso en tiempo real.

Una ventana de visualización provee una clara visión en forma cronológica de todas las fallas del sistema y/o de la aplicación, con fechado en el origen del evento.

Mediante un simple click desde la ventana, se puede acceder al editor del programa en el que el error fue activado (búsqueda de condiciones faltantes). Las modificaciones online pueden agruparse coherentemente la modalidad local en el PC y ser transferidas directamente al controlador programable en una sola operación a fin de ser considerada en el mismo ciclo. Una paleta completa de funciones permite controlar de cerca la operación y mantenimiento de la aplicación permitiendo reducir los tiempos de parada.

- c Logueo del historial de acciones del operador en un archivo seguro.

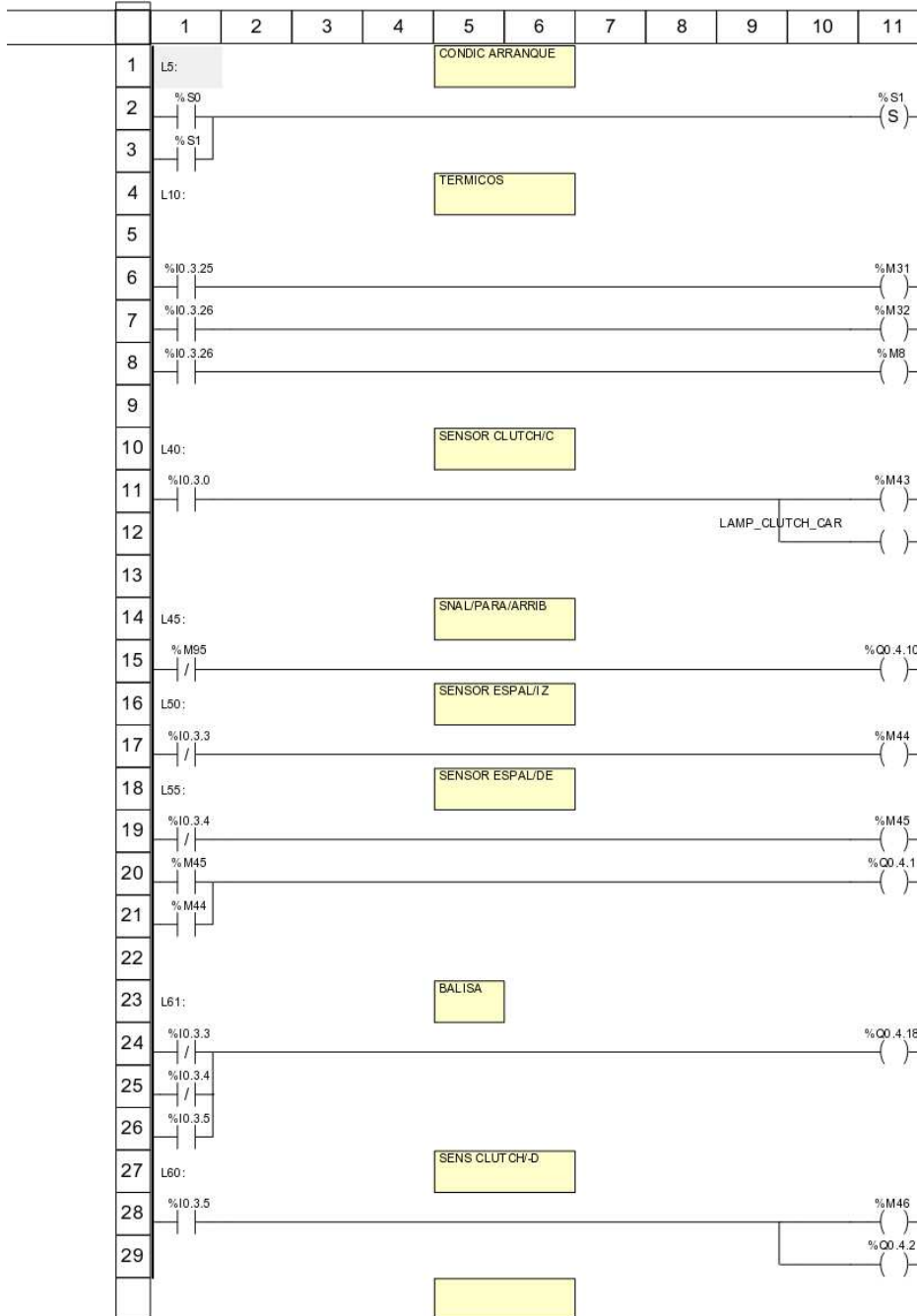
- c Perfil de usuario configurable y protegido por password.

- c Pantallas gráficas de operación integradas.

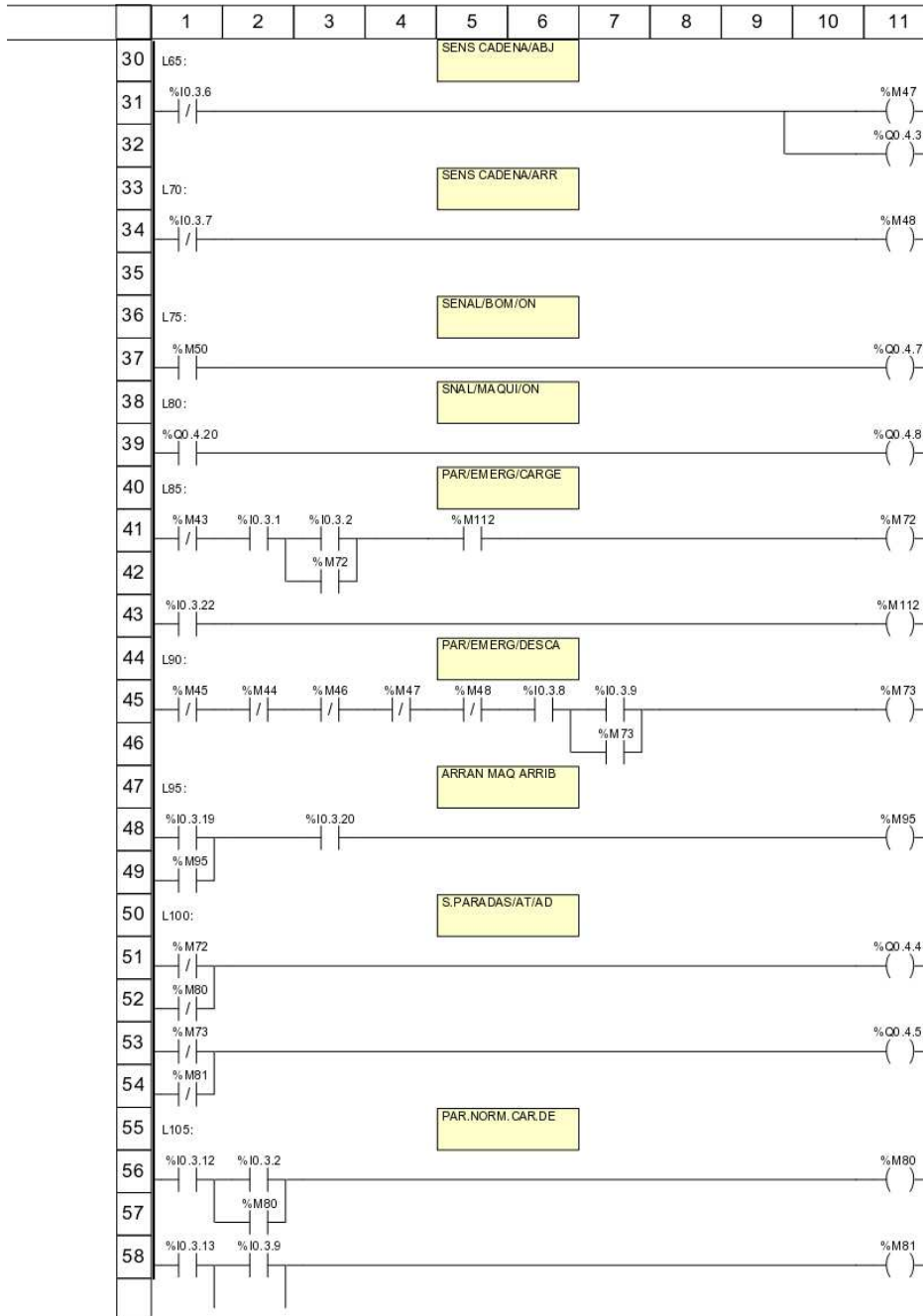
7.1 MANUAL

Este primer programa que es más básico no involucra todos los elementos (solo unos pocos sensores no se toman en cuenta) enunciados en la caracterización previa de la maquina, pero recrea el proceso fiel a la idea de lavar botellas y es descrito en lenguaje ladder a continuación.

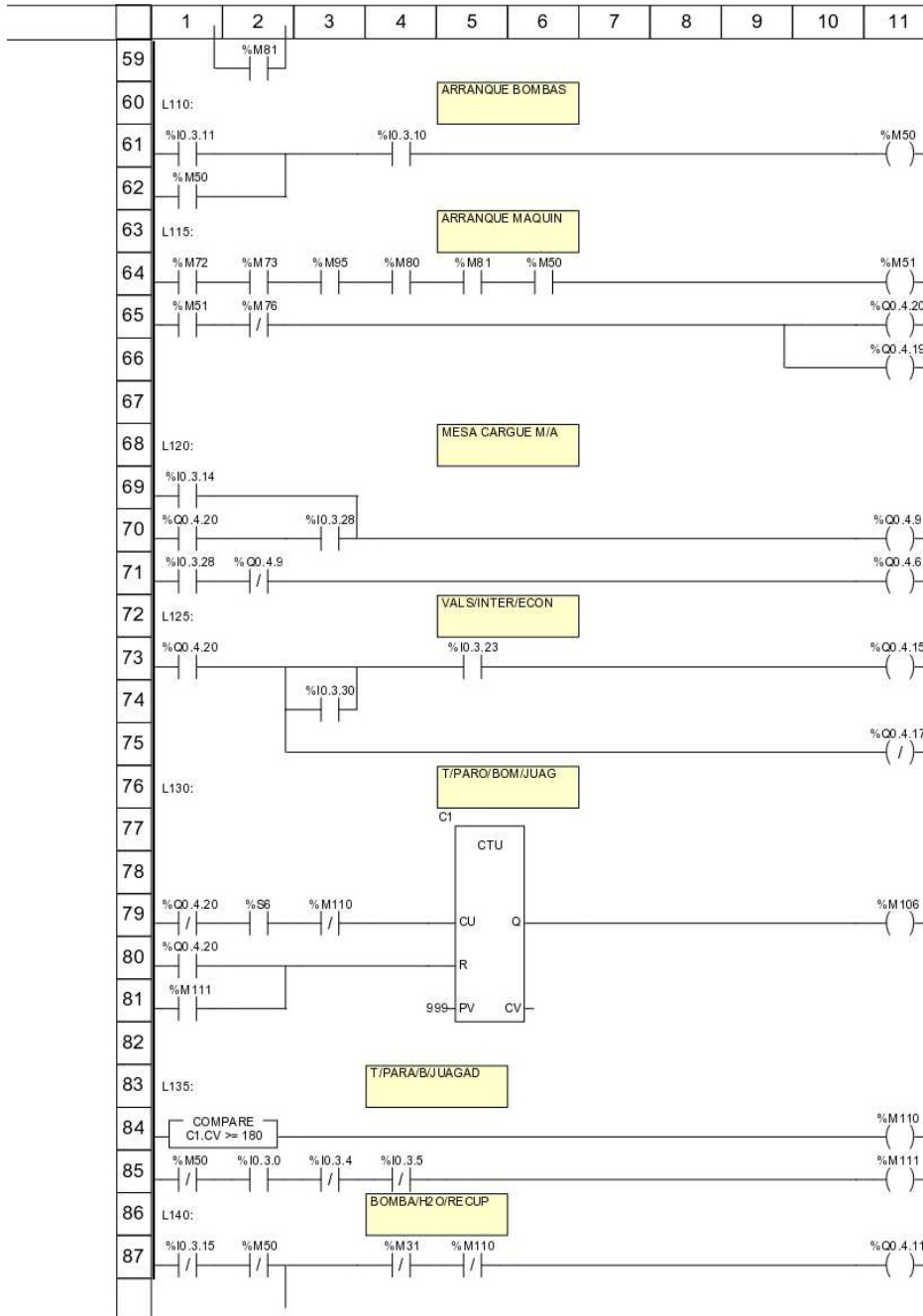
Principal



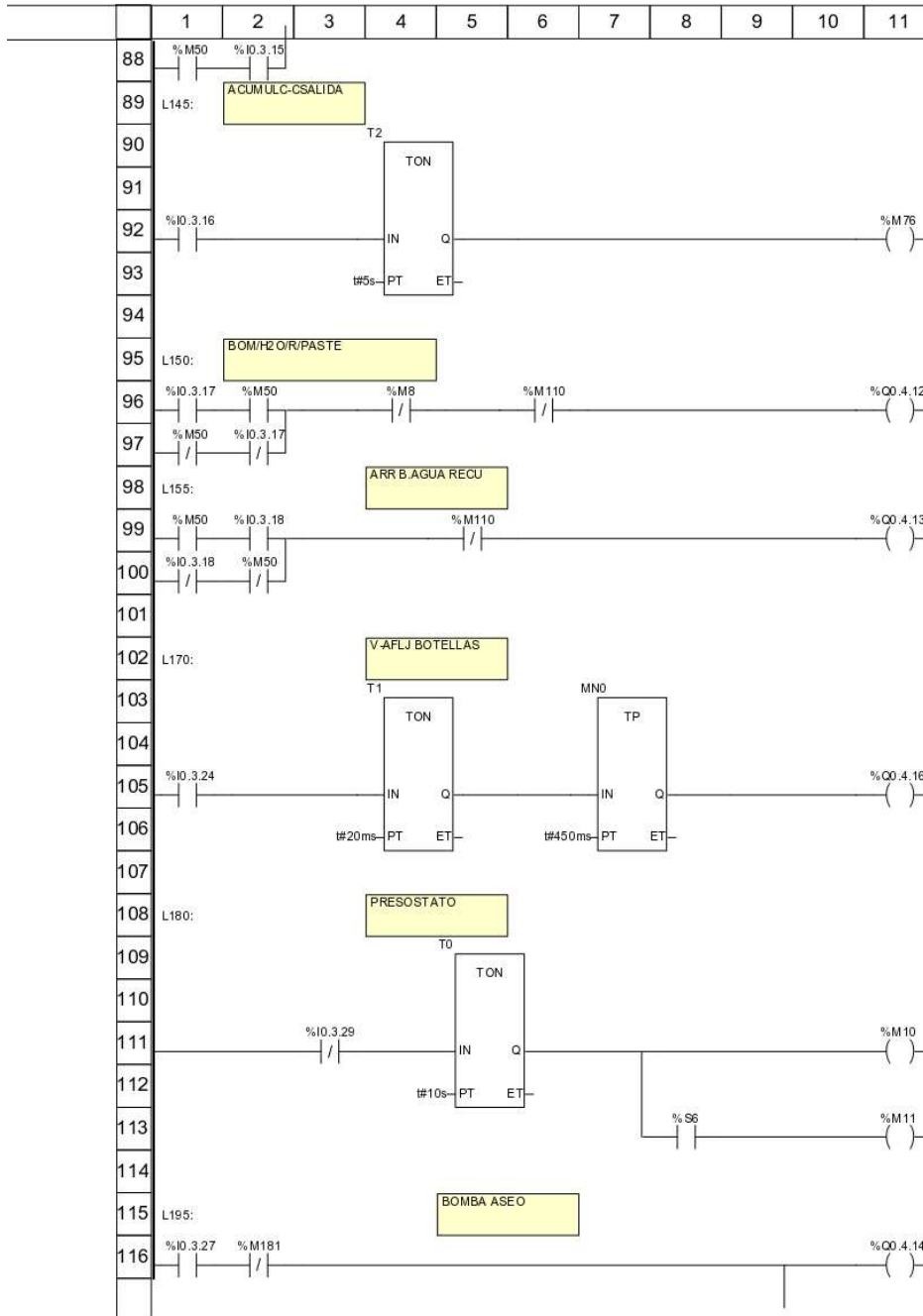
Principal



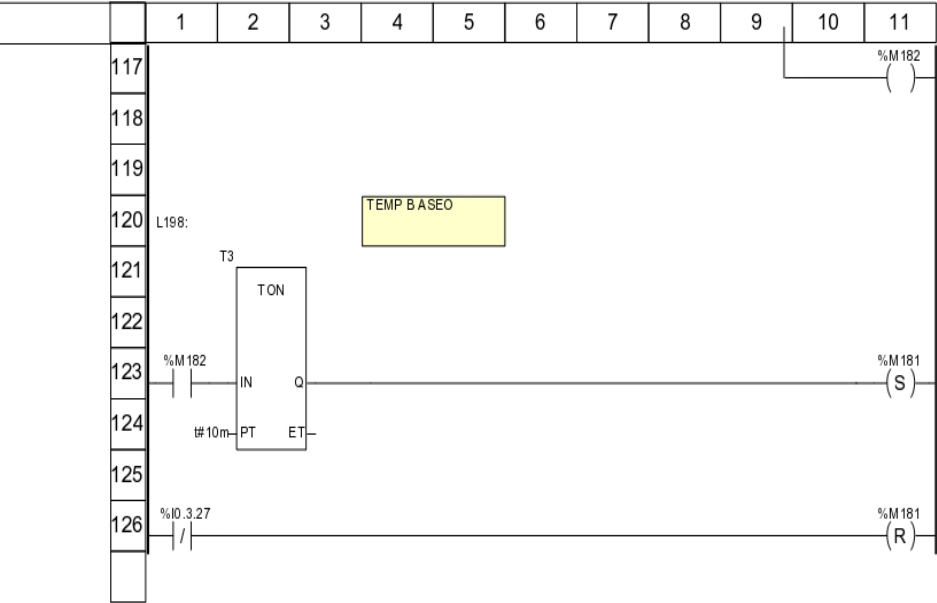
Principal



Principal

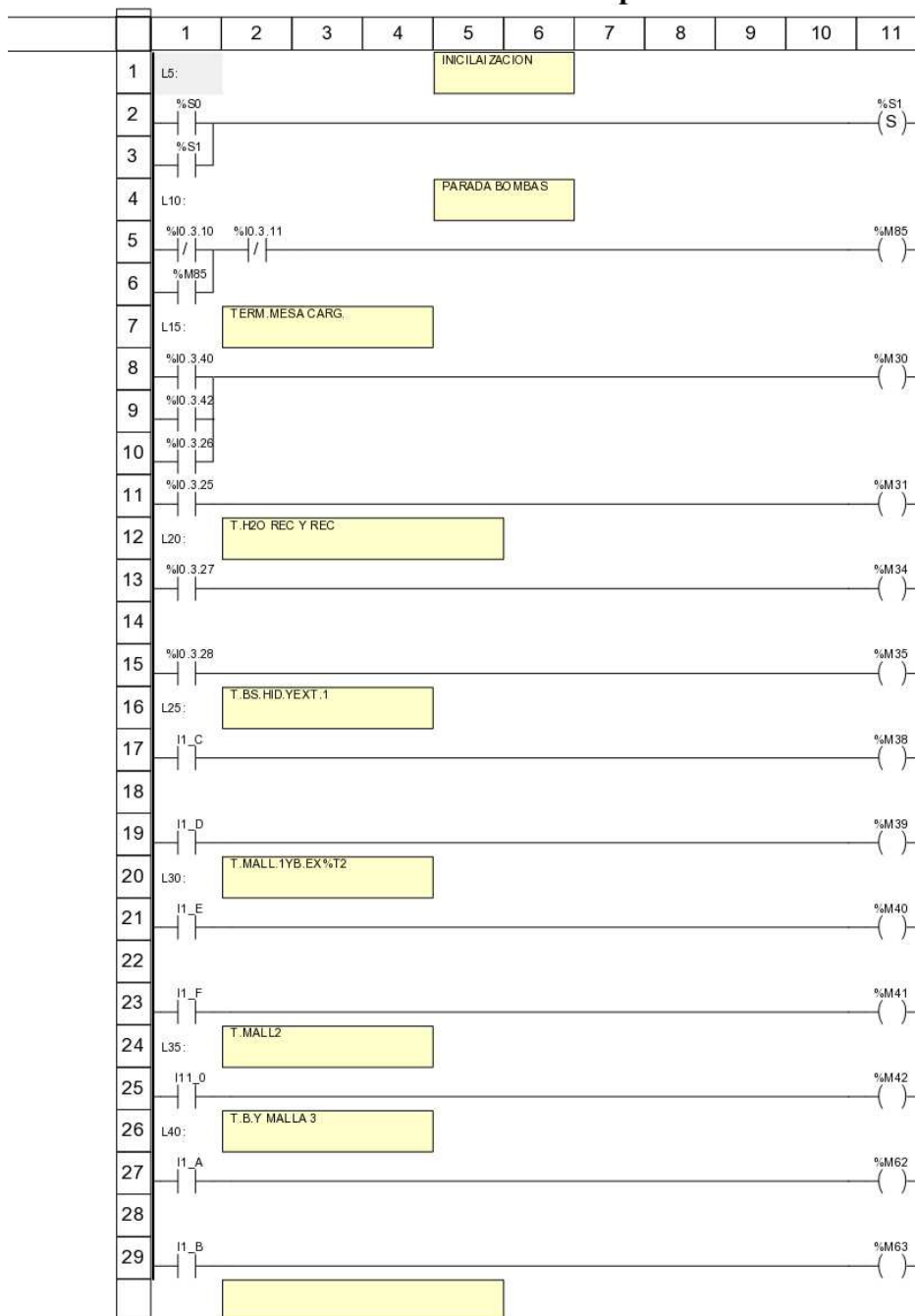


Principal

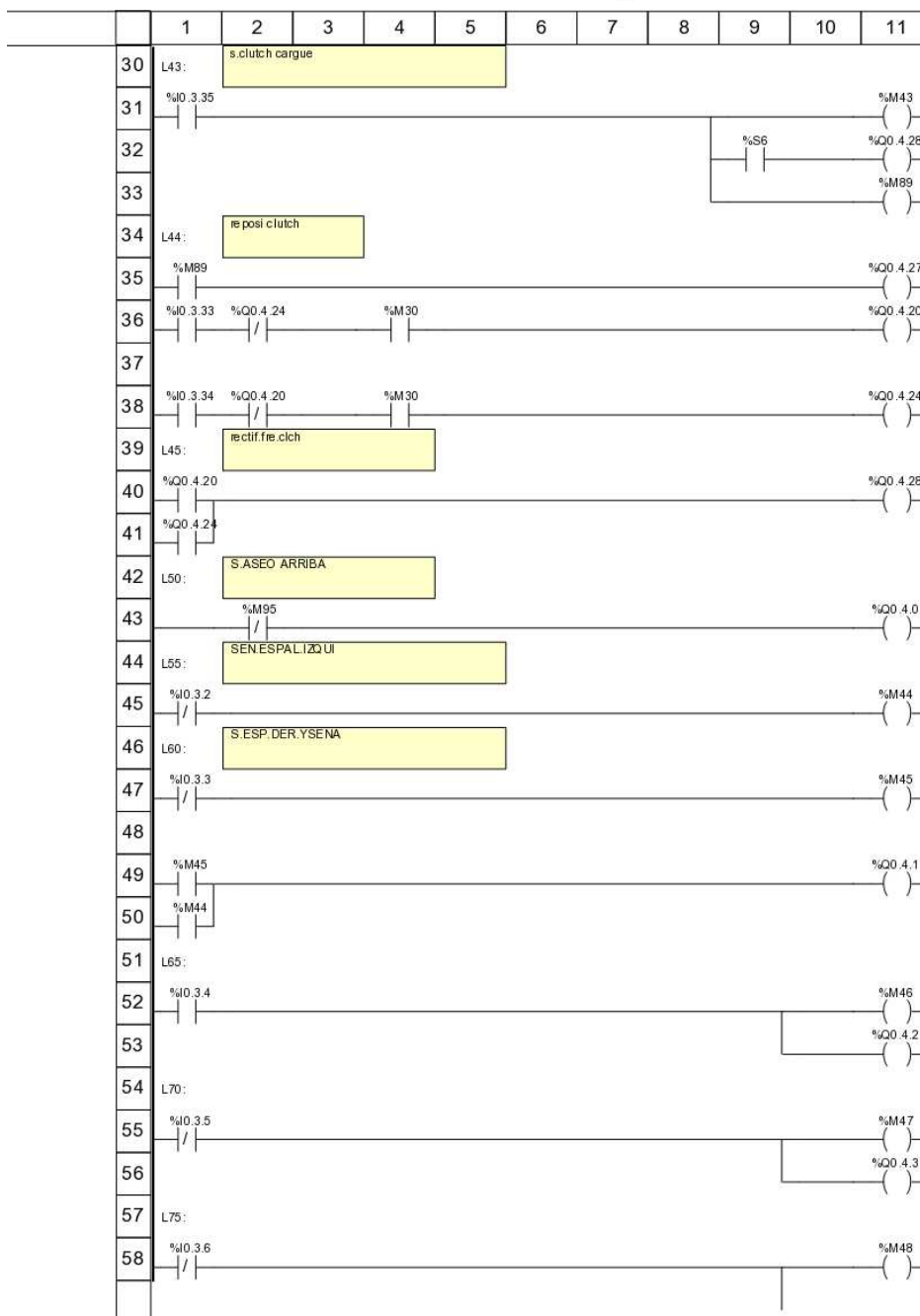


7.2 AUTOMÁTICO

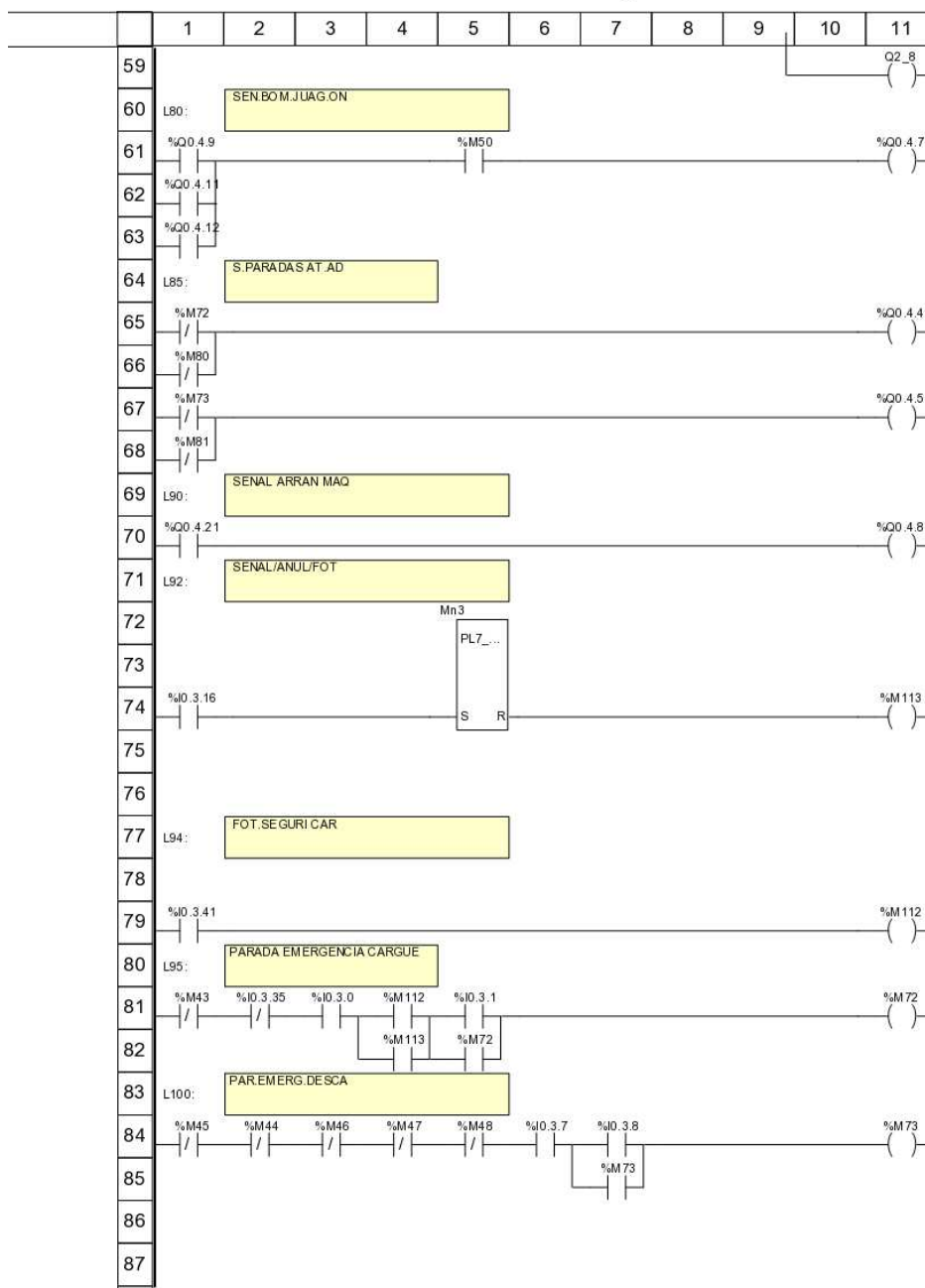
Principal



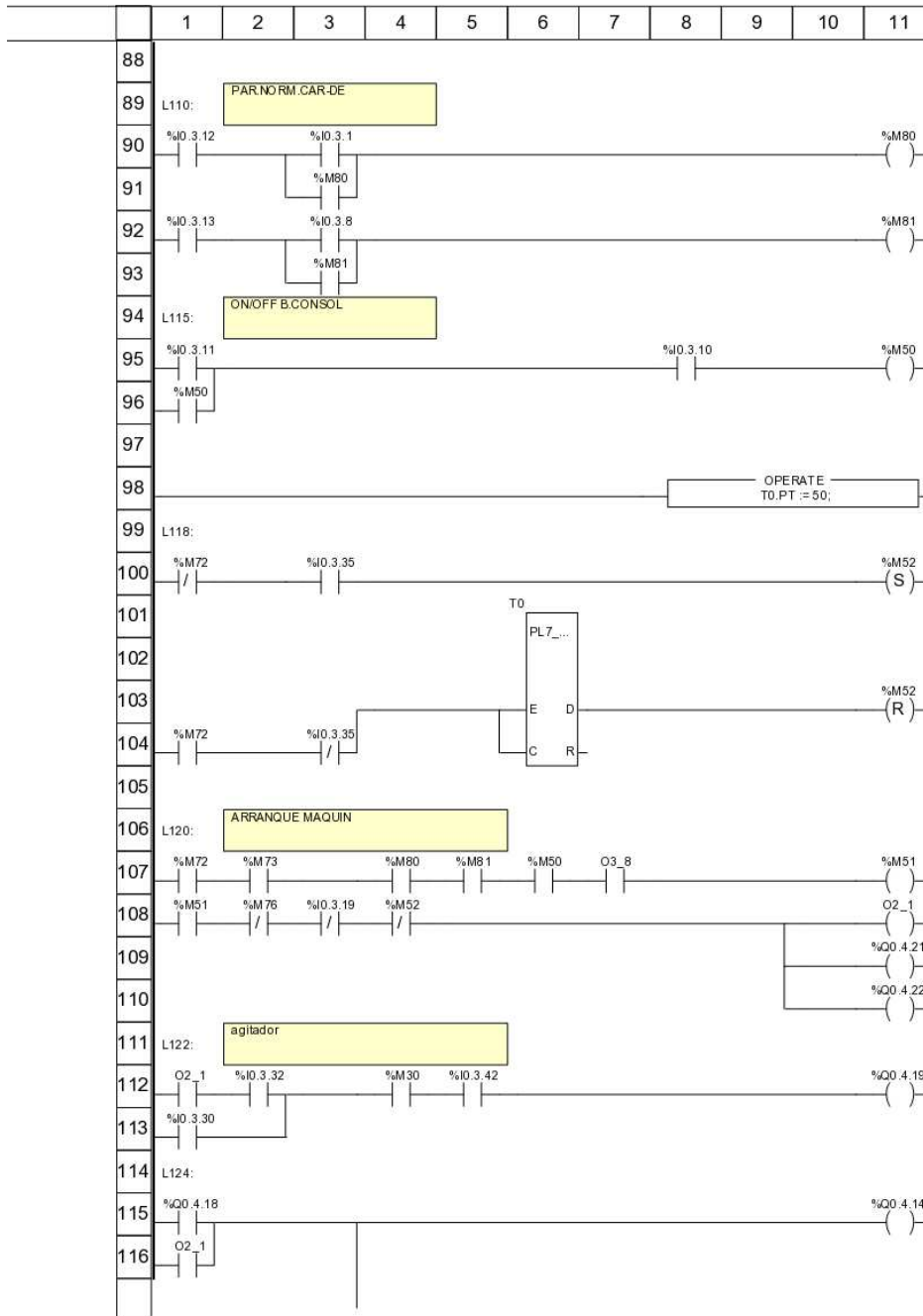
Principal



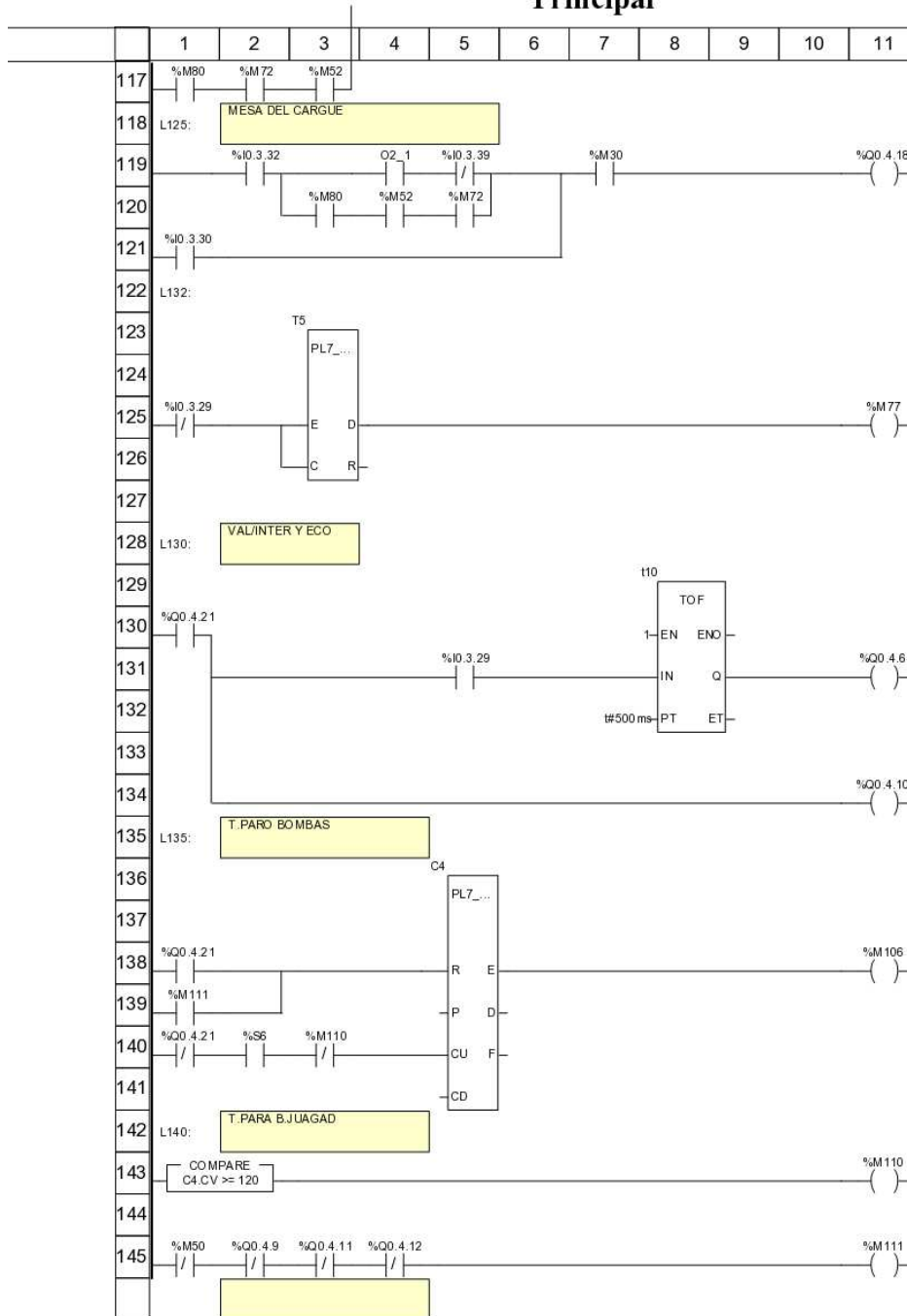
Principal



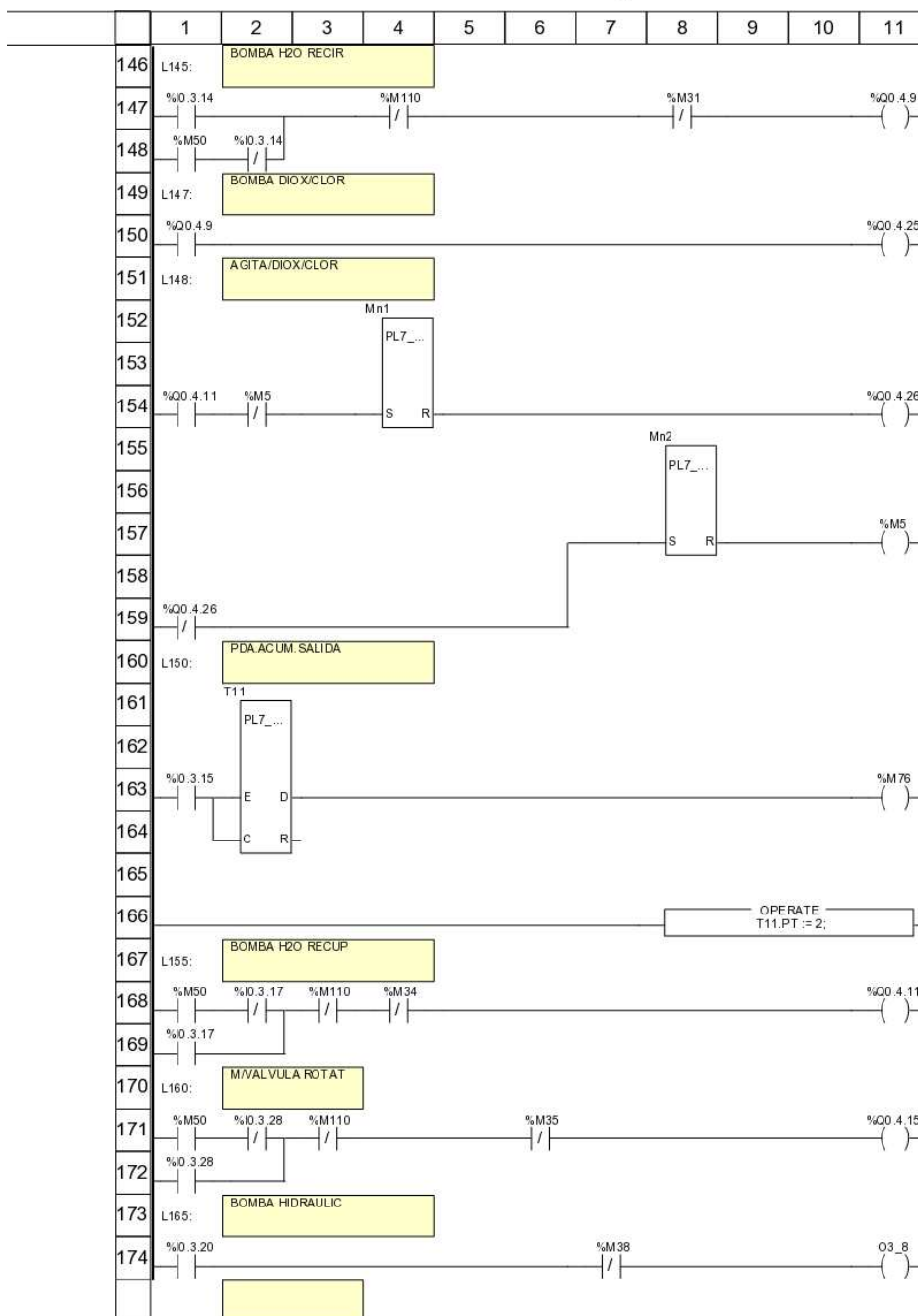
Principal



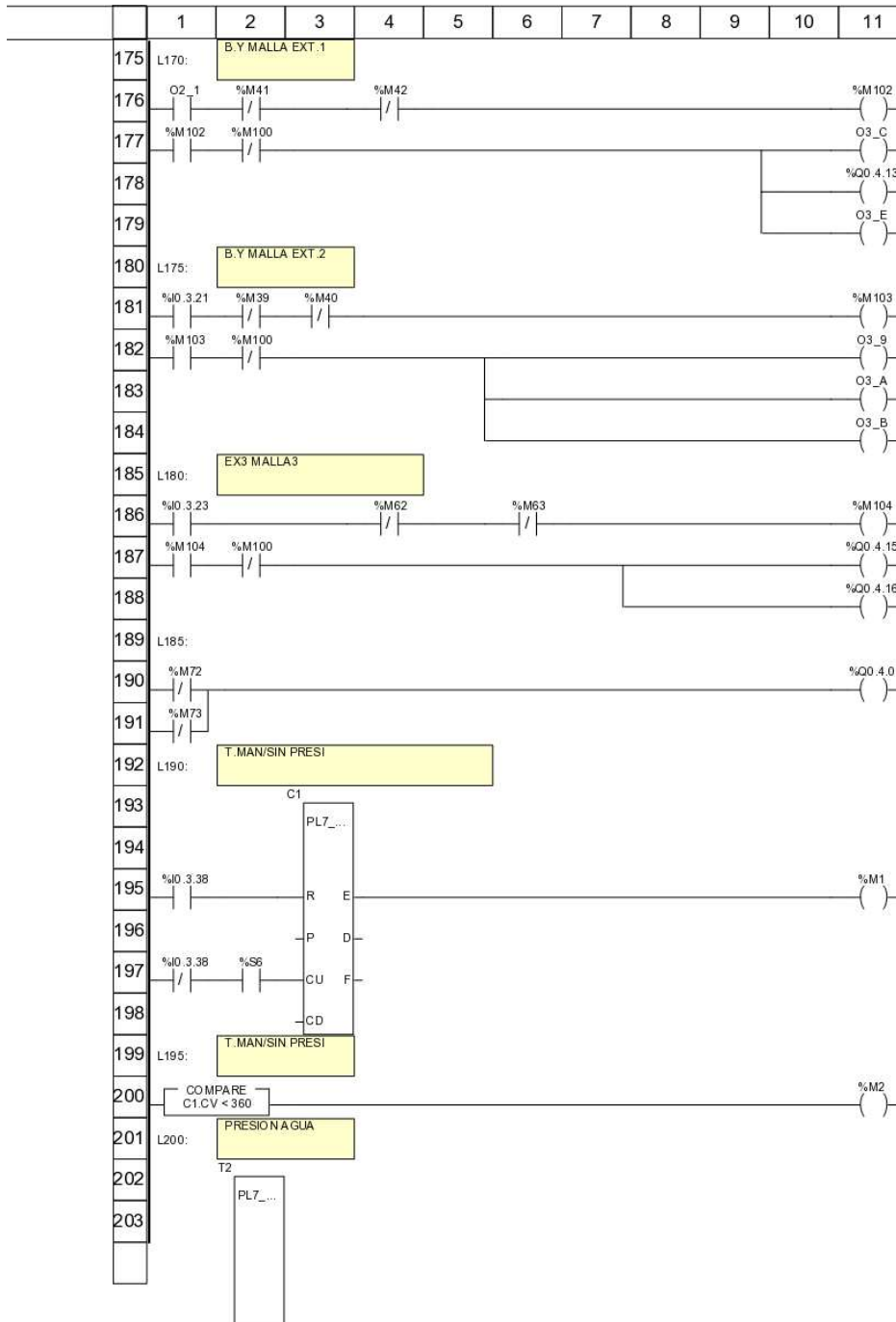
Principal

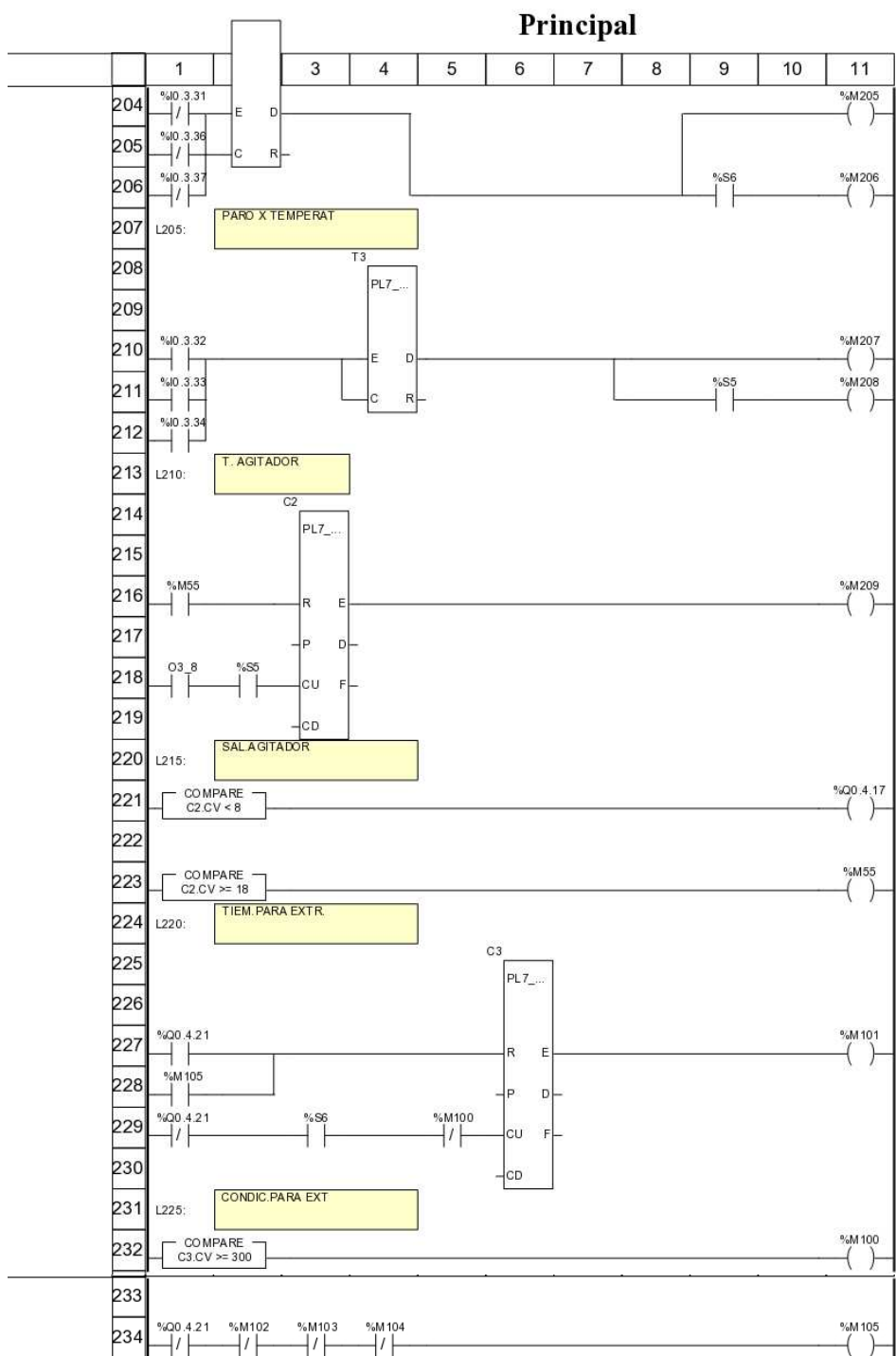


Principal



Principal





8. ANEXOS

Cámara de visión. Su función es capturar una imagen proyectada en el sensor para ser almacenada, procesada y visualizada. Como una alternativa para medir el nivel de llenado del tanque se analizó la utilización la cámara digital de alta velocidad *DVT Legend 510* que cuenta con un procesador Motorola Power PC, tiene un resolución de 640 X 480 píxeles y permite el acceso remoto desde cualquier conexión de Internet. El costo del sistema es de US\$9.429, este se considera un precio muy alto para las características del problema, por tanto se decidió utilizar un sensor que permita medir el nivel de llenado más adecuado a las características de la maquina y menos costoso.



Figura 45. Cámara DVT Legend 510.

Sensor Radioactivo. Constan de una fuente radioactiva que se instala en un costado del depósito. Al otro lado se coloca un medidor de radiación lineal para medidas continuas. La potencia emisora de la fuente decrece con el tiempo, por lo que hay que calibrar con frecuencia estos instrumentos. En la actualidad, la empresa cuenta con este tipo de sensores ubicados en la línea No.1, sin embargo debido a las dificultades técnicas y administrativas que conlleva el manejo de fuentes radioactivas, se pensó en utilizar otro tipo de sensor para esta aplicación. La figura (45) muestra el sensor radioactivo ubicado en la línea No.1.



Figura 45. Sensor radioactivo

Sensor de tipo fotoeléctrico.

Se analizó el sensor *Osiris XUM-W*, fabricado por *Schneider Electric*; constituido por un emisor y un receptor de rayos infrarrojos. El principio de funcionamiento del sensor consiste en la emisión de un rayo con una longitud de onda de aproximadamente 1450nm (aprox. $207 \cdot 10^{12} \text{Hz}$), que es percibida por el receptor si ninguna capa de líquido (que contenga agua) obstruye el paso del rayo infrarrojo. Estas longitudes de onda no causan perjuicios a los operarios que se encuentren cerca del sensor. La velocidad de respuesta de este sistema de detección de nivel de líquido (*máximum switching frequency*) es de 1Khz, teniendo en cuenta que el nivel no varía con una velocidad comparable a esta magnitud, esta velocidad es apropiada para las características del sistema, el costo de este sensor es de \$4.900.000.

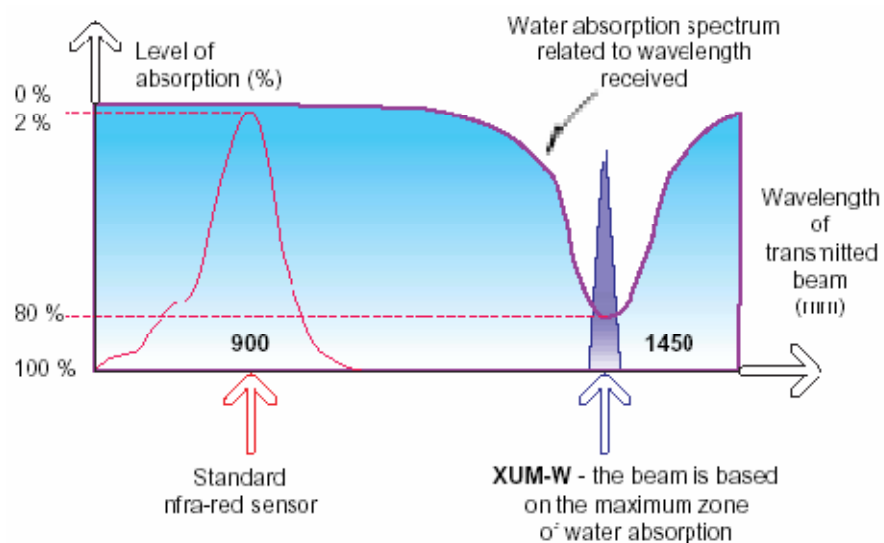


Figura 46. Sensor fotoeléctrico Osiris XUM-W

Ésta clase de sensores se encuentran ubicados en la salida de las llenadoras y verifican el nivel de llenado de las botellas rechazando las que no cumplan con este requerimiento, ha sido bastante útil y gracias a la experiencia adquirida, por su manejo es una alternativa viable, el proceso de calibración sería similar al que se uso para determinar los niveles de trabajo en la salida de la llenadora y que fue de la siguiente manera.

Se realizo un montaje preliminar para determinar los puntos de trabajo del receptor y la sensibilidad de los sensores; el montaje del sistema consiste en la ubicación frontal del emisor y el receptor permitiendo un espacio entre ellos de 7cm, para que el cuello del envase pase entre los dos, tal y como se observa en la figura 16.

Con este montaje preliminar se busco determinar los niveles de sensibilidad adecuados para la detección del nivel de líquido y así dejar sintonizado el sensor para su correspondiente ubicación. Estas pruebas se desarrollaron en el laboratorio de instrumentación del salón de envase y consistieron en colocar el envase con cerveza, inicialmente se permitió que el cuello del envase pasara a través del sistema de detección de líquido sin contenido de cerveza y luego se dejo llenar lentamente hasta alcanzar el nivel adecuado.



Figura 47. Montaje para sincronización del sensor XUM-W

En este punto se determino los niveles de sensibilidad que permite manipular el sistema que corresponden a la potencia y la sensibilidad. Ambos niveles fueron satisfactorios para un 50% de la variación total permitida, sin influencia de espuma. En la figura (48) se pueden observar los potenciómetros donde se realizaron las variaciones de sensibilidad del sensor.



Figura 48. Potenciómetros usados para el cambio de sensibilidad

El fenómeno de espuma es inevitable encontrarlo a la salida de la envasadora y funciona de la manera que se aprecia en la figura (49).

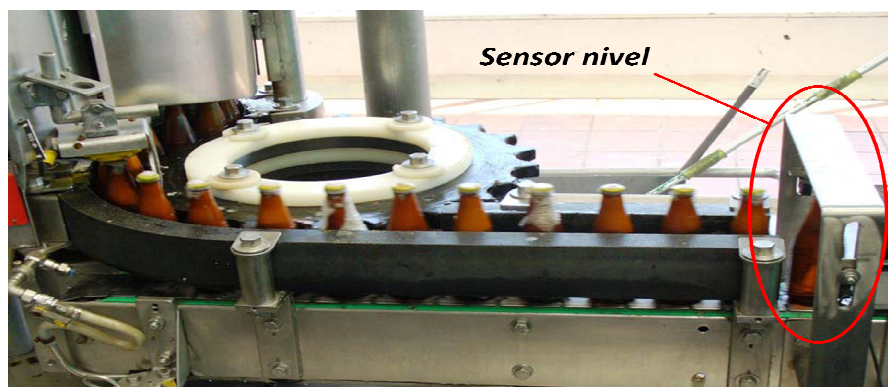


Figura 49. Montaje inicial del sistema de detección de nivel de líquido.

Sistema de identificación por radio frecuencia.

Los sistemas RFID (*Radio Frequency Identification*) permiten almacenar y recuperar datos en forma remota; están compuesto por una etiqueta (*tag*) y un emisor-receptor.

Las etiquetas utilizan antenas que les permiten recibir y responder las peticiones del emisor-receptor. Para este trabajo se analizó un sistema de radio frecuencia que utiliza la etiqueta de solo lectura BALOGH OC-93 que permite almacenar 8 bits y el transmisor-receptor ERO-71/QC, obteniendo así un Rango máximo de 25mm [2].

Dado los costos que implica este tipo de sistemas y que la identificación de la válvula no requiere almacenar cantidades importantes de información, se optó por un sistema más económico. La figura 49 muestra la tarjeta de identificación y el Transmisor-Receptor analizados.

	Styles: OC 93		
	Memory Capacity: 8Bits		
			
ERO-71/QC Transceiver Characteristics (At 25 °C)	Symbol	Unit	TAG OMA-931 OC-93
Maximum Range	H	mm	25
Static Transmission Zone: Height (at Sr)	Sr	mm	10
Typical Length (at Sr)	L	mm	60
Typical Width (at Sr)	W	mm	30
Dynamic Transmission Zone: Min. Length (at Sr)	LSr	mm	45
Maximum Lateral Offset	DSr	mm	7.5
Maximum Angular Offset	<°	°	20
Distance Between Two Transceivers	Der	mm	250

Figura 50. TAG OC 93 y Transceiver ERO-71/QC

Sensor inductivo.

Los sensores de proximidad inductivos pueden detectar sin contacto, objetos metálicos en un rango de detección de 0 a 60mm.

Un sensor inductivo consta esencialmente de un oscilador cuyo bobinado constituye la cara sensible del mismo. Frente a ésta se crea un campo magnético alterno. Cuando se coloca un objeto metálico en ese campo, las corrientes inducidas generan una carga adicional que provoca la parada de las oscilaciones.

Campo de funcionamiento.

En la práctica, las piezas a controlar son generalmente de acero de dimensión equivalente a la cara sensible del aparato. Para tener una detección segura hay que cerciorarse de que la pieza a detectar pase a una distancia inferior o igual a los valores indicados en las fichas técnicas del aparato elegido.

Señal de salida

Tipo 2 hilos: Los aparatos son alimentados en serie con la carga a controlar. Entonces están sometidos a:

- Una corriente de fuga (en estado abierto)
- Una tensión residual (en estado cerrado)

Tipo 3 hilos: Los aparatos constan de:

- hilos para la alimentación + - del aparato.
- 1 hilo para la transmisión de la señal de salida.

Según las características del modelo elegido, se tendrá una señal de salida determinada a través de un contacto de cierre NA, de apertura NC o complementaria NA + NC.

Rango de sensado: localizando una parte metálica a esta distancia hará que el sensor conmute. Este valor está dado por un objeto estándar de hierro y decrece para materiales como aluminio y cobre (Menos permeables a las líneas de campo magnético).

Montaje empotrable y no empotrable: los sensores inductivos son montados frecuentemente en partes metálicas. Si están montados

empotrados dentro del metal, pueden detectar la masa metálica en lugar de los objetos. Algunas versiones Blindadas existen para hacer que funcionen adecuadamente en estas condiciones, pero el rango de detección se reduce en este caso.

Entonces elegir entre un producto empotrable o no empotrable (la versión empotrable es popular) es una opción que hay que estudiar.

TABLA 5. FORMATOS Y ALCANCES DE DETECCIÓN

Tubular	M8	M12	M18	M30
XS5	1.5 mm	2 mm	5 mm	10 mm
XS6	2.5 mm	4 mm	8 mm	15 mm

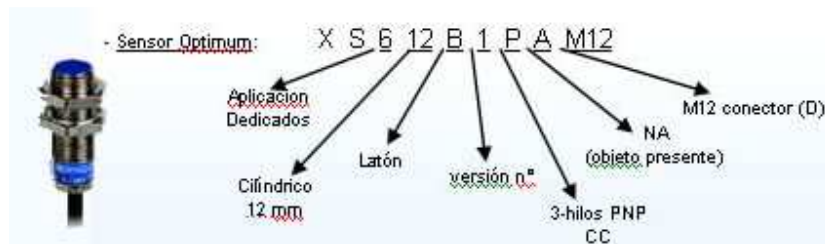


Figura 51. Etiqueta Optimum

Modelos más comunes en formato cilíndrico

- XS608B1MAL2 SENSOR IND. M.08 2H C/CABLE NA 20/264VCA/C
- XS608B1NAL2 SENSOR IND. M.08 3H C/CABLE NPN NA 10/58VCC
- XS608B1PAL2 SENSOR IND. M.08 3H C/CABLE PNP NA 10/58VCC
- XS612B1MAL2 SENSOR IND. M.12 2H C/CABLE NA 20/264VCA/C
- XS612B1NAL2 SENSOR IND. M.12 3H C/CABLE NPN NA 10/58VCC
- XS612B1PAL2 SENSOR IND. M.12 3H C/CABLE PNP NA 10/58VCC
- XS618B1MAL2 SENSOR IND. M.18 2H C/CABLE NA 20/264VCA/C
- XS618B1NAL2 SENSOR IND. M.18 3H C/CABLE NPN NA 10/58VCC
- XS618B1PAL2 SENSOR IND. M.18 3H C/CABLE PNP NA 10/58VCC
- XS630B1MAL2 SENSOR IND. M.30 2H C/CABLE NA 20/264VCA/C
- XS630B1NAL2 SENSOR IND. M.30 3H C/CABLE NPN NA 10/58VCC
- XS630B1PAL2 SENSOR IND. M.30 3H C/CABLE PNP NA 10/58VC

TABLA 6. SENSORES RECTANGULARES

Tipo bloque	J (8*22)	F (15*32)	E (26*26)	C (40*40)	D (80*80)
XS7	2.5 mm	5 mm	10 mm	15 mm	40 mm
XS8	*	*	15 mm	25 mm	60 mm

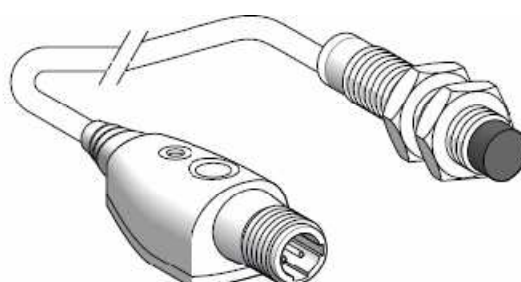


Figura 52. Etiqueta Sensor universal

La referencia M30 XS630B2PAL0M12 como el mostrado en la figura () tiene un diámetro de 30mm, un alcance de hasta 18mm en montaje no empotrado y hasta 11mm en montaje empotrado; tiene una frecuencia máxima de conmutación de 1 KHz y funciona en condición normalmente abierto.

Es el más utilizado en la planta, muy útil, eficaz y económico es:

- ✓ Sensor Inductivo XS6 30B2PAL01M12



Ø 30					
Alcance (Sn) mm	Función	Salida	Conexión	Referencia	Peso kg
18	NA	PNP	Conector M12 c/ extensión de 0,15 m	XS6 30B2PAL01M12	0,220

Figura 53. Sensor inductivo XS630B2PAL01M12

Sensor de temperatura Omnigrad M TR44, TR45



Figura 54. Sensor de temperatura Omnigrad M TR44, con transmisor

Principio de funcionamiento: la Resistencia Detectora de Temperatura (RTD) es un elemento que consta de una resistencia eléctrica con un valor de 100 Ω a 0°C (32°F). Se conoce comúnmente como PT100 en conformidad con la norma IEC 60751. El valor de esta resistencia se incrementa con el aumento de la temperatura de acuerdo a una característica del material resistente (platino). Esta clase de sensores son llamados elementos Coeficientes de Temperatura Positivos (PTC).

Este coeficiente es reparado con un $\alpha = 0.00385 \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, calculado entre 0 y 100°C (32 & 212°F), de acuerdo al ITS09 (eScala de Temperatura Internacional 1990).

Los termómetros con película de resistencia de platino (TF) constan de una precisa cantidad de platino que es vaporizada dentro de un sustrato cerámico a un espesor de 1 μm . Que a su vez es protegido por un sustrato en un vaso. Las ventajas de esto son:

Pequeñas dimensiones menores que heridas de cables con comprobada resistencia contra vibraciones.

Las películas resistentes (TF) son alteradas en versiones microscópicas del tipo de alambre (WW) con una medida diferencia relevante: el comportamiento de expansión de temperatura de los diferentes estratos de esta estructura conduce a las tensiones nerviosas mecánicas mínimas. Así se logra que el menor cambio en la temperatura se registre sobre la señal de salida sin sufrir pérdidas en las propiedades de las partes internas del sensor.

El rango de medidas en el modelo TR44 es confiable aun para temperaturas menores a 250°C, y de 500°C para el TR45.

La principal característica de los sensores Omnigrad M TR4X es que su diseño higiénico, está certificado según los estándares EHEDG y 3-A y todo el material en contacto con el proceso cumple las regulaciones de la FDA. Los sensores Omnigrad M TR4X son fabricados en acero inoxidable 316L/1.4435 y pueden ser instalados en proceso CIP y SIP.

Cuando existe una vaina de protección, el sensor interno se puede sustituir sin necesidad de parar el proceso, disponiendo de una gran variedad de conexiones a proceso (Clamp, Varivent®, DIN 11851,...).

Los sensores están disponibles con o sin transmisor en el cabezal y pueden generar señales de 4 a 20 mA, HART o Profibus PA. Todos los sensores se suministran de forma estándar con clase A (Pt100 según DIN EN 60751) existiendo la posibilidad de 1/3 DIN B o incluso mejores. El tiempo de respuesta es asimismo excelente, tanto en la versión de contacto directo como en la de vaina de protección con pasta termoconductora. Los sensores se pueden suministrar con cabezal en acero inoxidable (IP67), indicador local, doble elemento sensor (redundancia, validación), acabados superficiales inferiores a 0,4 micras, electropulido, certificado de materiales 3.1.B, etc.

Transmisor ó cabezal

Para este modelo y en esta aplicación usamos un Transmisor de temperatura modelo **ITEMP® HART® TMT 182**, Transmisor universal para sensores resistivos (RTD), termopares, transmisores resistivos y de tensión, programable vía protocolo HART®, para instalación en sensores con cabezal DIN B.

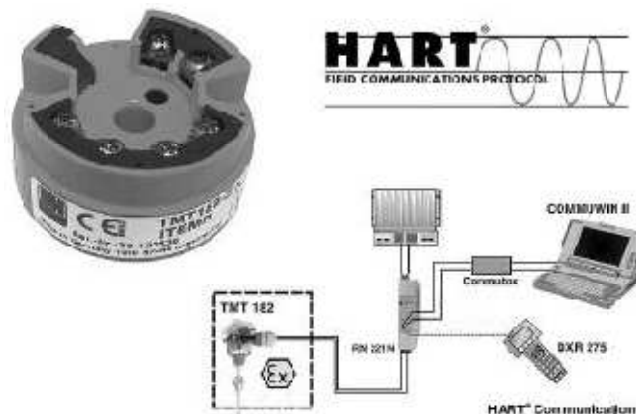


Figura 55. Transmisor Hart

El transmisor de temperatura para cabezal iTEMP® HART® TMT 182 es un transmisor a dos hilos con salida analógica. Tiene entrada para sensores resistivos (RTD) de 2, 3 y 4 hilos, termopares y transmisores resistivos y de tensión.

Entre sus características más importantes y relevantes podemos mencionar:

- Alta exactitud en todo el rango de temperatura
- Aislamiento galvánico.
- Entrada de Sensores resistivos (RTD)
- Protocolo para convertir distintos tipos de señal en una señal de salida 4 a 20 mA.
- Transmisión de temperatura lineal, resistencia lineal, tensión lineal.
- Tiempo de respuesta de 1 segundo.

Control de nivel con sensores capacitivos



Figura 56. Sensor capacitivo PA10-U de autonics

A menudo es necesario controlar nivel de producto en un recipiente o una tolva, detectando simplemente un nivel máximo y un mínimo, para actuar sobre el sistema de llenado y/o vaciado.

Para esta aplicación pueden utilizarse sensores de proximidad capacitivos como detectores de nivel, conectados a una lógica simple para el comando del sistema de llenado.

El recipiente puede contener fluidos, polvos o materiales granulados tales como PVC, colorantes, harina, azúcar, leche en polvo, por nombrar algunos. Los sensores de proximidad capacitivos detectan la presencia de todo tipo de material metálico o no. Disponen de un ajuste de sensibilidad multivoltajes en su parte posterior mediante el cual se ajusta el punto de actuación de acuerdo al material a detectar. Un LED indica el estado de accionamiento.

Los medios con constante dieléctrica alta, tales como los fluidos, pueden ser detectados a través de materiales con una baja constante dieléctrica, como es generalmente el caso del receptáculo (plástico, vidrio, fibra de vidrio). En este caso es posible controlar mediante la aplicación externa de dos sensores capacitivos, el nivel alto o bajo de casi cualquier líquido o sólido presente en el interior del recipiente.

En el caso de recipientes metálicos, el sensor capacitivo debe montarse atravesando la pared del recipiente de modo de detectar el líquido o granulado presente en el interior o en su defecto, medir desde el exterior a través de ventanas o visores de vidrio, plástico, etc. En la figura de abajo se ilustran los tres tipos de montaje.

Se puede regular desde el exterior la sensibilidad del sensor capacitivo de modo de determinar una zona de actuación bien definida.

Los sensores no blindados son especialmente convenientes para aplicaciones de contacto directo, por ejemplo cuando el polvo o líquido toca directamente el detector. El campo electrostático del sensor tiene más alcance lo cual es una ventaja en esas aplicaciones.

Para el caso de control de nivel de un líquido en recipiente no metálico, seleccionamos sensores capacitivos Selet modelo K01G30NO, de diámetro 30mm, montaje enrasado, salida NPN normal abierto, tensión de alimentación 10 - 30 Vcc.

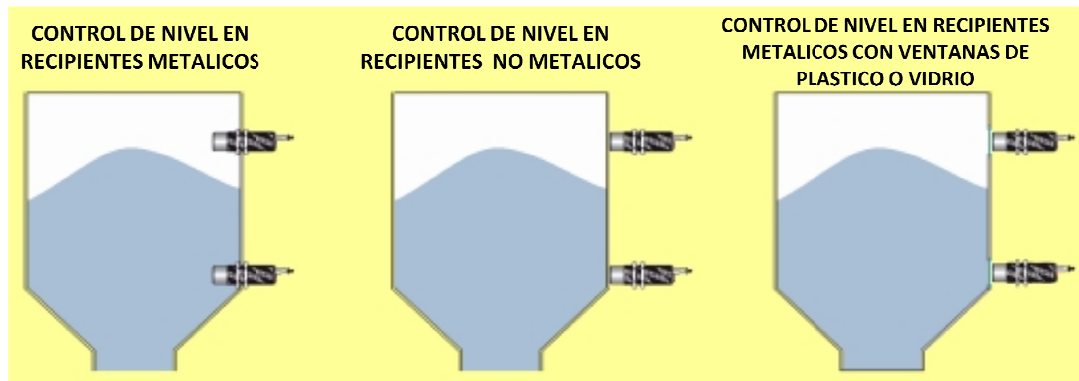


Figura 57. Aplicación sensor capacitivo PA10-U

Sensor medidor de nivel por columna hidrostática



Figura 58. Sensor Deltapilot S FMB70

Sensor de presión con célula de medición CONTITETM, resistente a condensaciones y estable a largo plazo; comunicaciones por HART, PROFIBUS PA o Fieldbus FOUNDATION

APLICACIONES

El sensor de presión hidrostática se emplea para las siguientes tareas:

- Medición de la presión hidrostática en líquidos y productos pastosos en todos los ámbitos de la ingeniería de procesos, la tecnología de medición de procesos, y las industrias farmacéutica y de la alimentación.
- Mediciones de nivel, volumen o masa en líquidos

VENTAJAS

- Muy buena repetibilidad y estabilidad a largo plazo
- Célula de medición CONTITETM con junta hermética:
- Resistente a la formación de condensaciones y a los agentes climáticos
- Máxima linealidad (más de un 0,1 % de todo el rango de medida)
- Alto nivel de precisión de referencia: $\pm 0,1\%$
- Mínimos efectos de temperatura (menos de 0,1%/ 10 K)
- Módulo de memoria HistoROM®/M-DAT.
- Monitorización de las funciones, desde la electrónica hasta la célula de medición.
- Rápida puesta en marcha gracias a los menús de configuración rápida.
- Configuración en campo guiada por menús fácil y rápida, mediante 4 a 20 mA con HART, mediante PROFIBUS PA o mediante Fieldbus FOUNDATION
- Funciones de diagnóstico ampliadas.

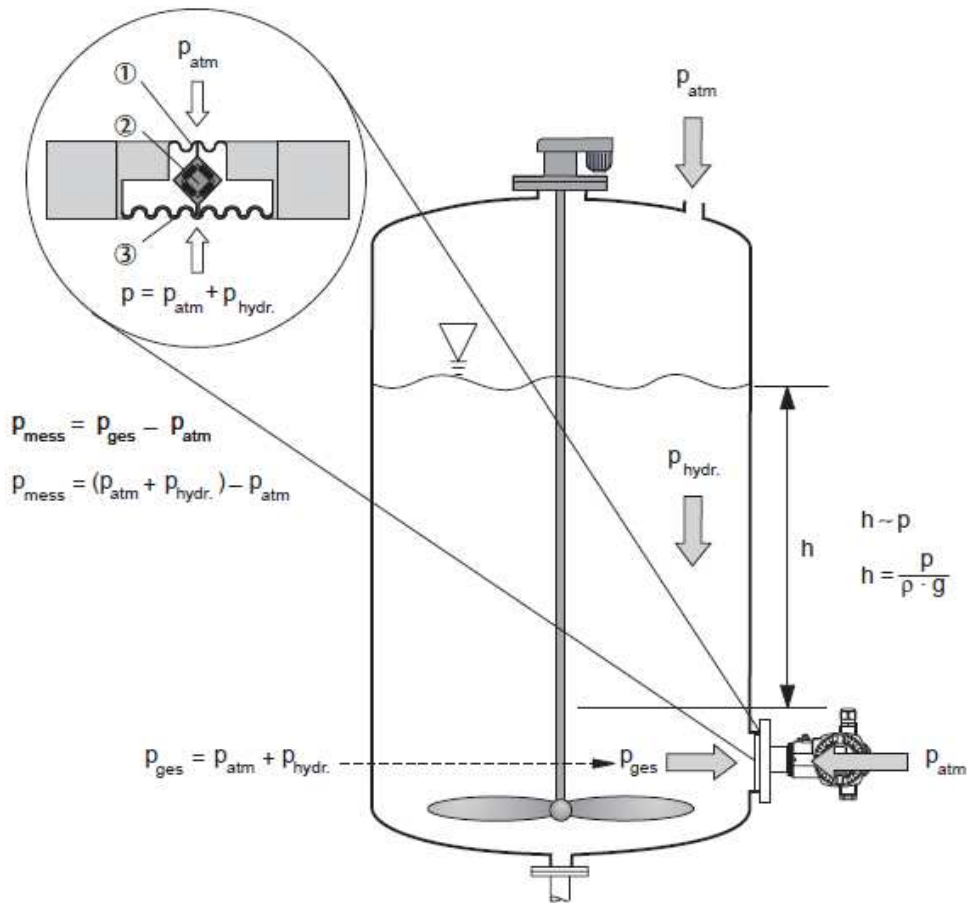


Figura 59. Principio de medición Deltapilot S FMB

Medición de nivel por columna hidrostática Deltapilot S y principio de medición

1 Diafragma de medición

2 Elemento de medición

3 Diafragma de proceso (diafragma separador)

g = Constante gravitatoria

h = Altura del nivel

p = Presión total = presión hidrostática + presión atmosférica

p_{atm} = Presión atmosférica

p_{hydr.} = Presión hidrostática

p_{med} = Presión medida en la célula de medición = presión hidrostática

ρ = Densidad del fluido

Una columna de líquido ejerce una presión hidrostática debida al peso del propio líquido. Si la densidad del líquido es constante, la presión hidrostática depende solamente de la altura h de la columna de líquido.

La célula de medición CONTITE™, cuyo funcionamiento se basa en el sensor de presión relativa, constituye el núcleo de Deltapilot S. Al contrario que los sensores de presión relativa convencionales, el elemento de medición de precisión (2) de la célula de medición CONTITE™ se halla completamente protegido entre el diafragma de proceso (3) y el diafragma de medición (1). Gracias a este sellado hermético del elemento de medición, la célula de medición CONTITE™ es totalmente insensible a la formación de condensaciones y a los gases agresivos.

La presión ejercida se transmite del diafragma de proceso al elemento de medición mediante un aceite sin ninguna pérdida en la magnitud de la presión.

Dos sensores de temperatura dispuestos entre el diafragma de proceso y el elemento de medición miden la distribución de temperaturas en la célula. A partir de estos valores de temperatura, la electrónica puede compensar cualquier error de medición resultante de las fluctuaciones de temperatura.

9. CONCLUSIONES

- La implementación del programa ladder propuesto integra en un PLC QUANTUM de telemecanique las variables identificadas en la caracterización del proceso de la maquina lavadora de botellas.
- El proyecto es totalmente viable para su implementación en un tiempo prudencial en fases que pueden ser definidas por la empresa.
- El proceso de caracterización ha ofrecido información que la planta no tenia acerca del estado de su máquina lavadora de botellas y puede ser utilizado como información de referencia.
- La productividad de la maquina se logra disminuyendo los tiempos de parada aumentando el número de botellas disponibles para llenar, si hacemos más pequeño el tiempo de paradas la producción aumenta y se reduce la relación costo de mano de obra y producto realizado.
- La maquina a través de su sistema de sensores puede indicar la clase de falla en el momento de necesitar una reparación. Esto es un ahorro de tiempo en el diagnóstico para mantenimiento.
- Las variables que no estaban siendo monitoreadas eran caudal de agua de compensación x evaporación de los tanques, detectada con el sensor de nivel, el atascamiento en la banda transportadora por acumulación de etiqueta extraída y el agua recuperada de los tanques de enjuague final que se reutiliza en la etapa de pasterizado.

- El PLC QUANTUM de telemecanique es una herramienta de hardware muy útil, practica, eficiente, versátil y de entorno bastante amigable para el usuario, permitiendo con esto también una programación didáctica de fácil aplicación y corrección de posibles fallas que se puedan presentar a pesar de ser un comprobado sistema de control y automatización tanto seguro como confiable.
- Al seleccionar sensores utilizados en otras áreas de la empresa garantizamos funcionalidad e inmediatez a la hora de realizar mantenimiento, contando con personal que ya conoce el funcionamiento de esta clase de dispositivos y puede hacer una labor de mantenimiento más eficaz.
- Inexistente documentación del proceso de la maquina dificulta la caracterización de los sub-procesos al interior de la misma.
- La recopilación de la información sólo fue posible consultando algunas rutas de mantenimiento eléctrico y a los encargados de mantenimiento que han aprendido de la maquina con la experiencia acumulada y la tradición oral que ello genera.
- El programa propuesto desde luego está abierto a modificaciones y mejoras para automatizar variables como la dosificación de soda agregada y/o proponer más elementos de seguridad.

RECOMENDACIONES

- El mejor modo de funcionamiento de la maquina es en configuración automática, el programa versión mejorada ofrece este comportamiento y es garantía de un funcionamiento óptimo con los sensores utilizados.
- La documentación a través de la tradición oral no fue fácil, algunos operarios y miembros del equipo de mantenimiento desconocían detalles de funcionamiento ó especificaciones técnicas en algunos de los sistemas a pesar de tener la idea general de cómo funcionaba la maquina, no existía registro de partes ni de mejoras en los procesos, por esta razón la recomendación más evidente es la de utilizar este documento como guía de consulta, ó documentar en formato empresarial los cambios realizados ya sea en la parte de instrumentación ó en el mismo programa de automatización que controla la maquina.
- Luego de entender la incidencia de la etapa de instrumentación casi que sobra mencionar pero no está de más hacer énfasis en el cuidado de los elementos que diagnostican el comportamiento y las incidencias al interior de la maquina lavadora de botellas. Un mantenimiento predictivo y preventivo adecuado puede realizarse de manera conveniente e importante agregando todos los elementos de instrumentación a las rutas de mantenimiento de la norma ISO 9001 implementadas en la empresa.
- La etapa de remojo podría incorporar un sensor de temperatura para controlar el estado en la solución de su interior, actualmente la placa que separa este tanque con el siguiente, transfiere calor y hace que la solución este por encima de la temperatura ambiente.

BIBLIOGRAFIA

Barry & Wehmiller. Catálogo funcionamiento *Maquina lavadora de botellas*. 1970.

Memorias Institucionales. Bucaramanga, Colombia: Cervecería Bavaria, sistema de gestión industrial, 2005.

Ruta mantenimiento eléctrico Lavadora línea 1, Cervecería Bavaria Bucaramanga, sistema de gestión industrial, 2005.

Telemecanique. [en línea] Productos y servicios. Disponible en: www.Schneider-electric.com.co

Schneider Electric. [en línea]. *Telemecanique Sensors* Disponible en: <http://ecatalog.telemecanique.com/default.asp?lg=en>

Ogata Katsuhiko. Sistema de control en tiempo discreto, 2ª edición, Pearson educacion 1996.