

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Automatización de una descajonadora de botellas
migrando del sistema de control SIGMA-tronic a S7-300**

Trabajo de graduación en modalidad de tesis presentado por
Oscar Alessandro Reyes Lico
para optar al grado académico de
Licenciado en Ingeniería Mecatrónica

Guatemala
2013

**Automatización de una descajonadora de botellas
migrando del sistema de control SIGMA-tronic a S7-300**

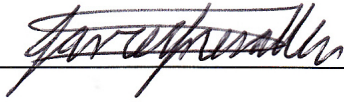
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería

**Automatización de una desencajadora de botellas
migrando del sistema de control SIGMA-tronic a S7-300**

Trabajo de graduación en modalidad de tesis presentado por
Oscar Alessandro Reyes Lico
para optar al grado académico de
Licenciado en Ingeniería Mecatrónica

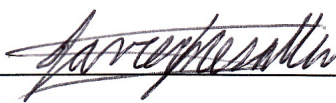
Guatemala
2013

Vo. Bo. :

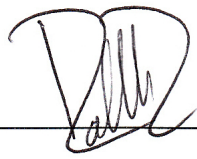
(f) 

(Ing. Javier Mesalles)


Tribunal Examinador:

(f) 

(Ing. Javier Mesalles)

(f) 

(Ing. Roberto Delgado)

(f) 

(Ing. Carlos Esquit)

Fecha de aprobación: Guatemala 6 de Diciembre de 2013.

PREFACIO

Antes de empezar con el tema tomo un pequeño espacio para agradecer a Dios por la vida y por darme la oportunidad de haber culminado mis estudios en esta Universidad, agradezco a mis padres por su apoyo y su esfuerzo ya que este logro no hubiera sido posible sin ellos. Agradezco a todos los catedráticos que me han transmitido parte de sus conocimientos y a mis hermanos, abuelos, familiares, amigos, compañeros, en fin, a todas las personas que de una u otra forma me han apoyado durante esta etapa de mi vida.

Una experiencia que definitivamente me ha formado como profesional es poder laborar y enfrentarme con las necesidades y requerimientos que la Industria necesita. En esta oportunidad le agradezco a Cervecería Centroamericana, S.A. donde tuve el privilegio de poder implementar un proyecto que involucra un avance tecnológico en el sistema de control de una desencajadora de botellas en una línea de producción.

En muchas Empresas el tema tecnológico es un factor indiscutible en el desarrollo de las mismas, es por ello que el proyecto implementado es un aporte al mejoramiento tecnológico de ésta máquina. El proyecto implementado surgió de la necesidad que se tiene al tener una máquina que funciona con un sistema del cual ya no es comercial, por lo que durante mis prácticas profesionales me asignaron el proyecto que consiste en la migración del sistema de control de una desencajadora de botellas, cambiando el sistema de control SIGMA-tronic a STEP 7. Para ello fue necesario desinstalar todas las tarjetas con que se compone el sistema SIGMA-tronic y en cambio, se instaló un PLC (Siemens S7-300 CPU 315).

La finalidad de este proyecto es la automatización de una desencajadora de botellas con un PLC Siemens S7-300, y de esta forma lograr un mejoramiento en el proceso de la máquina, prolongando su funcionalidad de operación.

Durante la realización del proyecto se obtuvo ayuda de personas como el Ing. Teddy Yllescas, jefe de mantenimiento de salones de embotellado, el técnico Ervin Pérez, técnico electricista de los salones y de otras personas que aunque no las mencione fueron parte importante del desarrollo de este proyecto. Así mismo agradezco a mi asesor Javier Mesalles y a mi director de carrera Roberto Delgado, por sus comentarios y correcciones de este trabajo.

CONTENIDO

PREFACIO	VI
CONTENIDO	VII
LISTA DE CUADROS.....	IIX
LISTA DE FIGURAS	X
RESUMEN	XI
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS	3
III. JUSTIFICACIÓN.....	4
IV. MARCO TEÓRICO	5
A. Desencajadora de botellas	7
1. Aplicaciones generales.....	8
2. Tipos de desencajadoras.....	9
B. Controladores lógicos	11
1. Sistema de control industrial SIGMA-tronic.....	12
2. PLC S7-300.....	15
a. Lenguajes de programación.....	15
b. SIMATIC Manager.....	16
V. METODOLOGÍA	18
A. Observar el funcionamiento de la máquina	18
B. Recolección de material y listado de entradas y salidas del PLC	19
C. Estructura de algoritmo y programación en SIMATIC Manager	19
D. Primera prueba en producción.....	20
E. Problemas observados con succión de botellas y transporte de cajillas	20
F. Problemas con topes de cajillas en sección de desencajado	20

G. Observación de la máquina en producción continua.....	21
VI. PROCESO DE DISEÑO.....	22
A. Etiquetas de la descajonadora de botellas.....	22
B. Diagrama de vista planta y vista lateral	24
C. Ocupaciones del PLC S7-300/CPU 315	28
D. Diagramas de flujo	29
E. Diagramas eléctricos.....	32
F. Manual de usuario	36
VII. ANÁLISIS Y RESULTADOS	39
VIII. CONCLUSIONES	51
IX. RECOMENDACIONES.....	52
X. REFERENCIAS.....	53
XI. APÉNDICE.....	55

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1: Descripción de etiquetas de la desencajonadora de botellas.....	22
Cuadro 2: Entradas del PLC S7-300/CPU 315.....	25
Cuadro 3: Salidas del PLC S7-300/CPU 315.....	26
Cuadro 4: Marcas del PLC S7-300/CPU 315.....	27
Cuadro 5: Ocupaciones del PLC S7-300/CPU 315.....	28
Cuadro 6: Fallas de la máquina (Febrero 2013 – Septiembre 2013).....	39
Cuadro 7: Número de ciclos y número de botellas en las dos velocidades.....	40
Cuadro 8: Botellas sin desencajonar en 30 minutos (Caso 1).....	41
Cuadro 9: Botellas sin desencajonar en 30 minutos (Caso 2).....	42
Cuadro 10: Precio de unidades existentes de SIGMA-tronic.....	43
Cuadro 11: Costos del nuevo sistema de control.....	43
Cuadro 12: Dimensiones de S7 vs SIGMA-tronic.....	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Proceso de embotellado	6
Figura 2: Desencajadora neumática Holstein und Kappert.	10
Figura 3: Clasificación de los controladores.	11
Figura 4: Representación de un sistema de control gobernado por el operador.....	12
Figura 5: Trayectoria de los controladores por la compañía ABB.....	13
Figura 6: Módulo SIGMA-tronic R 412 (AND's).....	14
Figura 7: Empaquetado de las unidades de SIGMA-tronic.....	14
Figura 8: Diferentes aplicaciones en control de procesos	15
Figura 9: Elementos de Hardware y de Software	16
Figura 10: Partes de un S7-300	17
Figura 11: Calendario de actividades previo a la implementación del sistema de control.	18
Figura 12: Calendario final de actividades.....	21
Figura 13: Diagrama de planta del proceso.....	24
Figura 14: Diagrama lateral del proceso.	24
Figura 15: Selectores.	29
Figura 16: Proceso de transporte de cajillas.	29
Figura 17: Proceso automático (desencajonar).....	30
Figura 18: Adelante y succión.....	31
Figura 19: Selector automático.....	32
Figura 20: Tensión y seguridad.	32
Figura 21: Botonera.....	33
Figura 22: Control de motores de bandas transportadoras.	33
Figura 23: Motores de bandas transportadoras	34
Figura 24: Sensores de posición.....	34
Figura 25: Motores principales.....	35
Figura 26: Semáforo.	35
Figura 27: Tiempo de espera cada cuatro minutos	41
Figura 28: Comparación del sistema de control SIGMA-tronic con un PLC S7-300/CPU 315	44
Figura 29: Aprovechamiento del espacio con el nuevo sistema de control S7	45
Figura 30: Resultado de desmontar el sistema de control SIGMA-tronic.....	47
Figura 31: Estados de señales de entrada y de salida del PLC S7-300	48

RESUMEN

Una descajonadora de botellas es una máquina que extrae las botellas vacías de las cajillas y envía las cajillas y las botellas a sus respectivas lavadoras. Funciona mediante unos brazos articulados que en sus extremos tienen unas ventosas de plástico que extraen las botellas. El proceso de descajonar dura aproximadamente 5 segundos en cada movimiento del brazo articulado y extrae el contenido de 12 cajillas, es decir, 288 botellas.

El presente trabajo trata acerca de la automatización e implementación de una descajonadora de botellas la cual estaba siendo controlada por un sistema llamado SIGMA-tronic el cual es sistema de control basado en tarjetas de circuito impreso que conectadas entre ellas de forma lógica cumplen la función que se requiera. Este sistema fue creado a finales de los setentas y fue dejado de producir a finales de los noventas. Esto es un problema para cualquier máquina ya que los repuestos son escasos y a la vez elevados. Es por ello, que en este trabajo se reúnen los recursos y conocimientos necesarios para migrar de un sistema obsoleto como lo es SIGMA-tronic a un sistema moderno y de mucha utilidad llamado STEP 7.

STEP 7 es una plataforma creada por Siemens en la cual se puede programar y trasladar a los PLC (Controladores lógicos programables) logrando por medio de la programación, ya sea, KOP, FUP ó AWL, realizar las funciones requeridas para controlar procesos, en este caso, el proceso de una descajonadora.

I. INTRODUCCIÓN

El aumento de salarios y la escasez de mano de obra calificada hacen que sea necesario, o más bien, obligatorio para las industrias tener sistemas automatizados en los procesos de ingeniería de máquinas. El continuo aumento de la población hace que las Industrias tengan que aumentar la velocidad y seguridad de funcionamiento de las máquinas para una mayor producción, y así poder satisfacer las diversas necesidades de la población. Es por ello, que con el avance tecnológico, los componentes electrónicos son a menudo los más adecuados para este propósito.

Con el desarrollo de los semiconductores, transistores y circuitos integrados se ha podido lograr que los procesos industriales se puedan automatizar, y es por ello que surgió mucho antes de los autómatas programables un sistema muy confiable basado en tarjetas de circuito impreso con circuitos integrados llamado a éste sistema SIGMA-tronic.

SIGMA-tronic fue un sistema fabricado por Brown, Boveri & Cie (BBC), la cual era una Empresa que se dedicaba a construir sobre todo generación eléctrica, electrónica, distribución de energía, equipos de tracción y equipos industriales. El sistema SIGMA-tronic fue creado a principios de los años setenta y dejado de fabricar en los años noventa. Este sistema fue creado para el control industrial y consiste en tarjetas de circuito impreso interconectadas que realizan alguna función requerida.

Este sistema fue muy utilizado por muchas industrias en todo el mundo pero con el avance tecnológico y la aparición de los Controladores Lógicos Programables (PLC's) fue sustituyendo a este sistema, que a su vez han ido desapareciendo componentes haciéndolos más costosos para repuestos en las máquinas que trabajan aún con este sistema.

Dadas las necesidades de la Industria moderna, la tecnología que se maneja, el problema de la escases de repuestos, la dificultad de hacer un cambio y detectar fallas en el sistema, se decidió hacer una migración en el sistema de control de una descajonadora de botellas cambiando dicho sistema de SIGMA-tronic a STEP 7, con el fin de modernizar, simplificar y ahorrar tiempo en detección de fallas y cambios de repuestos.

Por lo tanto, el presente trabajo trata sobre la solución de este cambio y todo lo que conlleva su funcionamiento, cómo la metodología, diagramas, programa, resultados y análisis de los mismos, entendiendo el por qué es tan importante la continua modernización de los procesos de control.

Entre los alcances del proyecto se desea implementar un sistema que funcione correctamente, un sistema eficiente que responda a las necesidades y problemas que la Industria requiera. Un sistema sin errores y con mejoras que ayuden al operario a facilitarle el trabajo, donde los problemas se corrijan fácilmente y logren ser solucionados de una forma rápida. Un sistema donde ya no requiera atención constante del operador, confiando de que el sistema es bastante efectivo.

Como todo proyecto existen limitantes en el presupuesto, equipo y materiales pero en éste proyecto se proporcionó todo lo necesario para que la máquina desencajadora de botellas funcionara correctamente con el nuevo sistema de control.

II. OBJETIVOS

A. OBJETIVO GENERAL:

- ◆ Migrar el sistema de control de una desencajadora de botellas desde un sistema SIGMA-tronic a uno S7.

B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- ◆ Modificar el sistema de control de una desencajadora de botellas para reducir la probabilidad de problemas de operación.
- ◆ Disminuir el tiempo de detección de fallas en el sistema de control.
- ◆ Reducir costos ocasionados por desperfectos en las tarjetas de control.

III. JUSTIFICACIÓN

Muchas máquinas en la actualidad aún funcionan con un sistema lógico controlado por tarjetas perforadas, pero no sólo son sistemas que ya no se utilizan ni se fabrican, sino también las partes son muy escasas, y si se encuentran, son costosas. Por esta razón, es que se desea implementar un programa en un PLC (S7-300/CPU 315) para reducir la probabilidad de algún desperfecto eléctrico y a la vez modernizar el sistema de control SIGMA-tronic que como se menciona es un sistema obsoleto donde los repuestos son muy escasos.

Al actualizar el modo de control de la máquina se optimizan recursos, se eliminan los problemas de conexión y los problemas eléctricos del sistema anterior, se ahorra tiempo en detectar algún error, se entiende mejor la lógica del programa, se pueden hacer modificaciones fácilmente, se elimina la búsqueda de repuestos y ahorro económico de los mismos, se elimina la posibilidad de algún paro de la producción por falta de alguna tarjeta dañada. En fin, el proceso se vuelve más eficiente.

IV. MARCO TEÓRICO

El proceso de una fábrica embotelladora consiste en envasar algún tipo de bebida para distribuirlo en el mercado. Éste proceso es posible debido a el control humano, mecánico, eléctrico y electrónico. Una planta embotelladora se caracteriza por su interacción sincronizada de procesos ya que desde que entra una botella vacía hasta que sale llena de la línea de producción pasa por una serie de subprocesos.

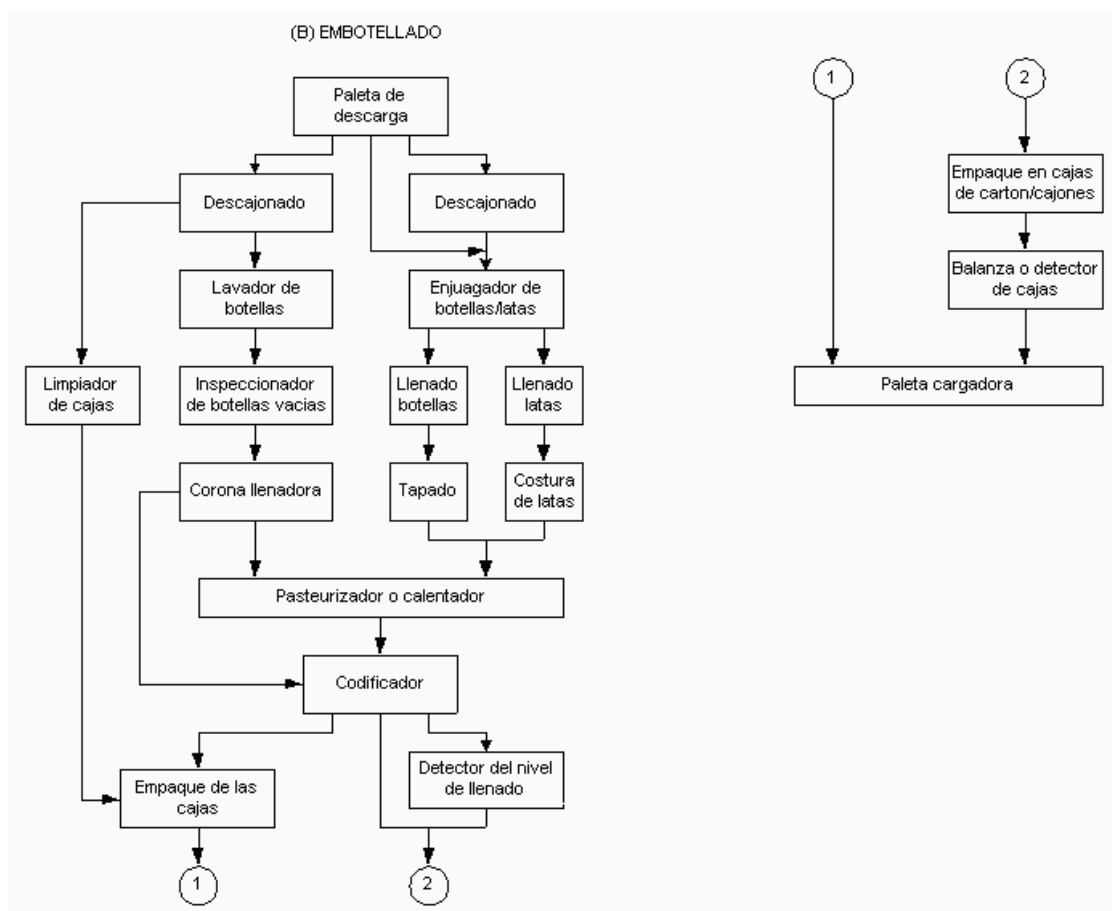
Entre los subprocesos de una fábrica embotelladora se encuentran:

- Despaletizadora
- Desencajonadora
- Lavadora de botellas
- Lavadora de cajillas
- Inspeccionadora
- Llenadora
- Taponadora
- Pasteurizadora
- Etiquetadora
- Encajadora
- Paletizadora

Sin estas máquinas el proceso de embotellado sería muy difícil de lograr, teniendo en cuenta que la producción es continua y la demanda elevada. Sin embargo, no todo el proceso es echo por las máquinas, existen personas que ayudan a inspeccionar el trabajo de las mismas.

Como parte del proyecto realizado se desea que el lector tenga una idea de cómo es el proceso en una embotelladora y se detalla a continuación:

Figura 1: Proceso de embotellado



Fuente: Planta procesadora de bebidas gaseosas. turnkey.taiwantrade.com.tw

Como se observa en la Figura 1 el proceso de embotellado comienza en el área de despaletizado, donde una máquina coloca en una banda transportadora las cajillas que vienen apiladas del camión, de forma que las cajillas entran a la línea de producción una tras otra con botellas vacías. Estas cajillas son transportadas a una descajonadora, la cual su función principal es extraer las botellas de las cajillas y transportarlas a una mesa de botellas donde continúan su recorrido hacia la lavadora de botellas. Por otra parte las cajillas sin botellas son transportadas a una máquina lavadora de cajillas. Al llegar las botellas a la lavadora, ésta por medio de un mecanismo, empuja las botellas a un molde donde las botellas ingresan bocabajo para ser lavadas a presión con agua a temperatura alta, y es en este proceso donde con ayuda de soda cáustica se elimina la etiqueta de la botella. Al salir las botellas de la lavadora son transportadas a una inspeccionadora que verifica si la botella está lista para ser llenada por las llenadoras. Esta máquina se compone de un cabezal giratorio que toma las botellas y las llena a una velocidad de aproximadamente cuarenta y dos mil botellas por hora. Inmediatamente después una selladora o taponadora coloca la tapita a la botella y ésta puede ser conducida a la pasteurizadora la cual es una máquina que tiene como función lograr que los alimentos que se introducen en ella queden libres de bacterias por medio del calentamiento de los mismos a

elevadas temperaturas, haciendo que conserven sus propiedades y características tales como valor nutricional y sabor original. Hecho este proceso el producto puede etiquetarse por medio de la etiquetadora y finalmente el producto se coloca en sus respectivas cajillas por medio de una encajadora y apiladas por medio de una paletizadora. Estando así el producto terminado para su distribución.

Ya que conocemos el proceso básico de una Embotelladora podemos hablar más detalladamente del objetivo general del proyecto el cual es la automatización de una desenchajadora de botellas migrando del sistema de control SIGMA-tronic a STEP 7.

A. Desenchajadora de botellas

Una desenchajadora de botellas es una máquina utilizada para sacar las botellas de una cajilla, en la cual son transportadas.

La desenchajadora surgió como una forma de acelerar y efectivizar el proceso de desenchajado debido a que cuando esta máquina no existía, el trabajo no era constante y dependía de muchos otros factores que hacían que la producción variara, ya que todo el proceso de embotellado dependía del proceso de desenchajado. Es por esta razón que la creación de la desenchajadora de botellas surgió como una necesidad en las fábricas embotelladoras para mejorar la producción y evitar las pérdidas innecesarias (Zamora J. 1993).

En todas las industrias embotelladoras surge como el proceso inicial, es decir, que es la primera operación que se hace en el proceso de producción de embotellado.

Las botellas que van a ser desenchajadas, pueden ser de diferentes materiales, es decir, que la máquina tiene la capacidad de desenchajar botellas sin importar su resistencia. Además, la máquina no se rige a un solo tamaño de botella y también la forma de los envases o botellas no implica ningún problema para la ejecución del proceso. En la industria de productos con botellas desechables el proceso de desenchajado es igual de importante (Zamora J. 1993).

Se toma como condición necesaria que los envases o botellas vienen o se transportan en cajas, las cuales sirven para facilitar el transporte y una mayor comodidad de expendio al por mayor en la distribución de los productos. En los diseños y selección de desenchajadoras de botellas se tiene que tomar en cuenta el tipo de caja en la cual las botellas que quedan más de tres cuartos afuera de la caja se llaman cajas bajas y las cajas en las cuales las botellas no se ven, se llaman cajas altas (Zamora J. 1993).

1. **Aplicaciones generales.** Una desencajadora se utiliza en todas las fábricas en las cuales se trabaje con botellas y a la vez estas se transporten en cajas. Estas fábricas se denominan fábricas embotelladoras de productos, que pueden ser sólidos, líquidos y gaseosos, además los productos pueden ser alimenticios o no alimenticios. Dependiendo del producto se toman en cuenta dos clases de industrias. La industria en la cual la botella o envase es retornable, es decir, que después de llenarla por primera vez, sale al mercado, es consumido y luego vuelve a la fábrica para ser vuelto a llenar, siguiendo un proceso previo de limpieza. Es decir, que las botellas que vienen de la fábrica donde son producidas, llegan a la fábrica embotelladora, se sacan de sus cajas para ser llenadas y mandadas al mercado por primera vez, luego de ser consumidas vuelven a la embotelladora en sus respectivas cajas para volver a ser llenadas y seguir con un ciclo que se repite hasta que el envase cumple con su tiempo de vida útil (Zamora J. 1993).

En la industria de productos con botellas desechables, el proceso de desencajado es igual de importante, porque los envases o botellas vienen de la fábrica donde son producidos hasta la fábrica embotelladora del producto. Se supone que vienen en cajas para poder ser así transportados con mayor facilidad (Zamora J. 1993).

La otra industria es la que el producto viene en envases no retornables, es decir, desechables, se llenan una sola vez cuando vienen de la fábrica de envases, y de ahí son desechados (Zamora J. 1993).

En la industria de productos con botellas retornables podemos mencionar a: Embotelladoras de agua, embotelladoras de bebidas gaseosas, embotelladoras de cerveza, embotelladoras de gases, etc. Es decir, en todas aquellas fábricas en que el envase representa un costo considerable en el valor de venta del producto como es el vidrio, el acero y el plástico de producción cara (Zamora J. 1993).

En la industria de productos con botellas desechables podemos mencionar a: Embotelladoras de agua, embotelladoras de bebidas gaseosas, embotelladoras de jugos, embotelladoras de aceites, etc. Es decir, en todas aquellas fábricas en que el envase no representa un valor considerable en el valor de venta del producto como es el plástico, cartón y otros materiales cuya fabricación es barata (Zamora J. 1993).

2. Tipos de descajonadoras. En la actualidad existen tres tipos de descajonadoras: Las de bandas, las neumáticas y las de tenazas de nylon (Zamora J. 1993).

En este proyecto se discutirá solamente la descajonadora neumática, la cual fue utilizada.

Las descajonadoras neumáticas están concebidas según un principio original donde todos los movimientos de la máquina, de las cajas y de las botellas son continuos y están perfectamente sincronizados (Zamora J. 1993).

El proceso es sumamente preciso, cuando entran las cajillas un visor fotoeléctrico y un interruptor de seguridad avisan a la parte superior que tiene los chupones neumáticos (llamada también tulipa) que tiene que bajar, cuando ya está abajo se introduce el aire en los chupones y éstos agarran las botellas, sube la parte superior sacando las botellas de las cajas y coloca las botellas en la mesa de transportación, dejando de succionar para que suelte las botellas (Zamora J. 1993).

Una motorización única sincroniza:

- El carrusel que soporta las cabezas o tulipa.
- El selector del transportador de cajas.
- La agrupadora de botellas a la meza de descajonar.

Este principio de movimiento continuo permite atender altas cadencias limitando el desgaste de las piezas mecánicas y respetando los embalajes. Además, su fiabilidad y su costo de mantenimiento son muy reducidos, disponen de un engrase centralizado y un autómatas programado (Zamora J. 1993).

El descajonado de botellas, frascos de vidrio y plásticos, cervezas, refrescos, aguas minerales, aceites y otros; dentro de cajas de plástico, cajas de madera, cartones sin aletas, con aletas, todas las cajas con o sin separadores, se torna sumamente sencillo con este tipo de máquina. Su rendimiento es sumamente alto (Zamora J. 1993).

La forma con que la máquina agarra la botella para poderla sacar de la caja es mediante cabezales de descajonado neumáticos. El uso de cabezales simples, dobles o más es según la necesidad de producción (Zamora J. 1993).

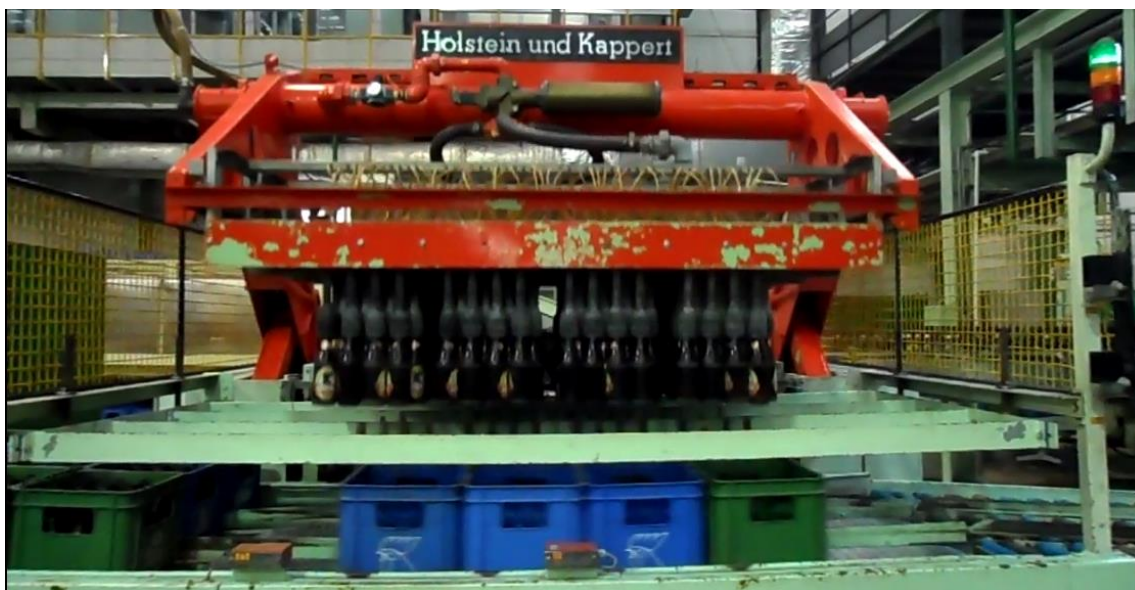
Este tipo de descajonadoras de botellas sirve para descajonar de cualquier tipo de cajas, refiriéndose al tamaño, es decir, que saca las botellas de cajas de altura mínima y a las de gran altura (Zamora J. 1993).

En las desencajadoras neumáticas aunque su costo de mantenimiento es reducido, es mayor que en las desencajadoras de bandas debido a que posee componentes más delicados, más avanzados y de mayor precisión. Pero en cuestión de eficiencia y rapidez de producción es la mejor de todas, así como en la confiabilidad y en la precisión del trabajo (Zamora J. 1993).

El proceso se realiza de la siguiente manera. Las botellas son desencajadas por medio de chupones neumáticos (ventosas). Dependiendo de la capacidad de desencajado de la máquina se introducen las cajas con las botellas, en un movimiento sincronizado bajan los chupones neumáticos que al tocar las botellas es aspirado el aire y entonces agarra las botellas, suben los chupones con las botellas, dejándolas sobre la mesa de transportación, en ese momento deja de inyectar aire y los chupones sueltan las botellas (Zamora J. 1993).

En la actualidad existen muchas empresas que se dedican a la fabricación de máquinas para líneas completas de embotellado, tales como: Krones, Holstein und Kappert (H&K), entre otras. La desencajadora de botellas para este proyecto es una Holstein und Kappert modelo 1974 neumática controlada por el sistema de control SIGMA-tronic del cual se hablará a continuación.

Figura 2: Desencajadora neumática Holstein und Kappert.



B. Controladores lógicos

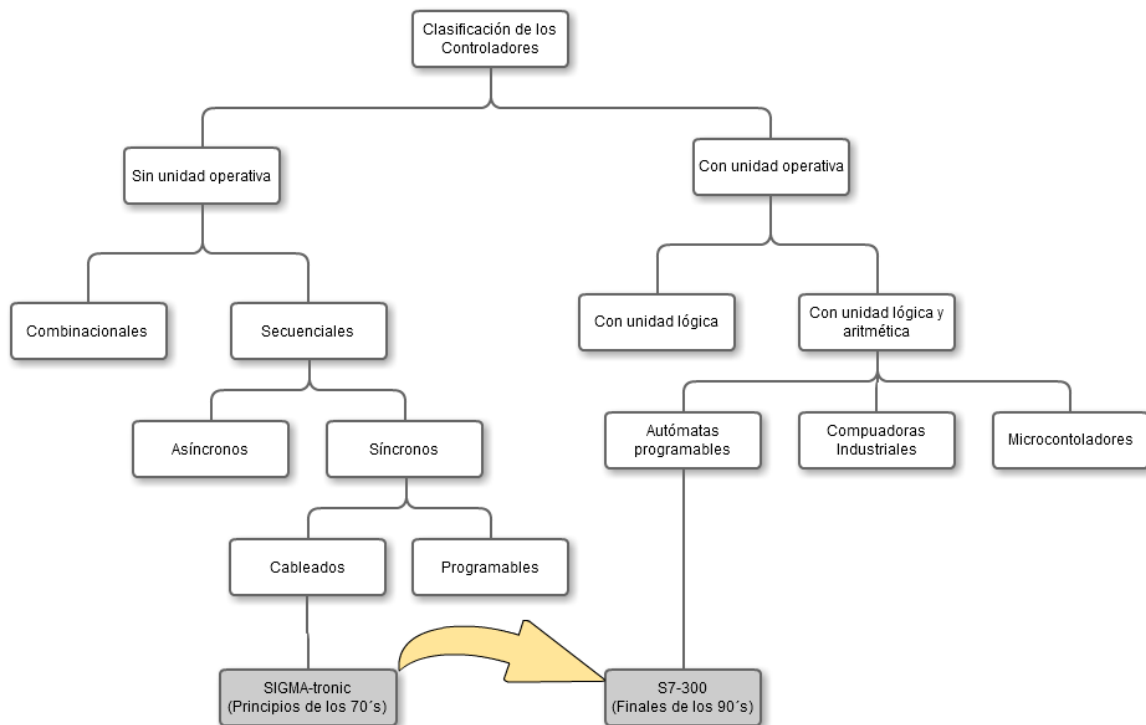
Los controladores lógicos surgieron por la necesidad de controlar variables físicas y básicamente son sistemas electrónicos que reciben variables binarias en sus entradas y generan a partir de ellas otras variables binarias.

Existen dos tecnologías de automatización:

- ♦ Lógica cableada: Esta tecnología consiste en un automatismo realizado mediante cableado de los elementos, los cuales pueden ser sensores, relés, contactores, módulos de control, entre otros (Infoplcn.net, 2009).
- ♦ Lógica programada: Esta tecnología consiste en la incorporación de controladores programables al entorno industrial (Infoplcn.net, 2009).

Los sistemas de control fueron evolucionando, dejando atrás los sistemas cableados como lo es el sistema de control industrial SIGMA-tronic.

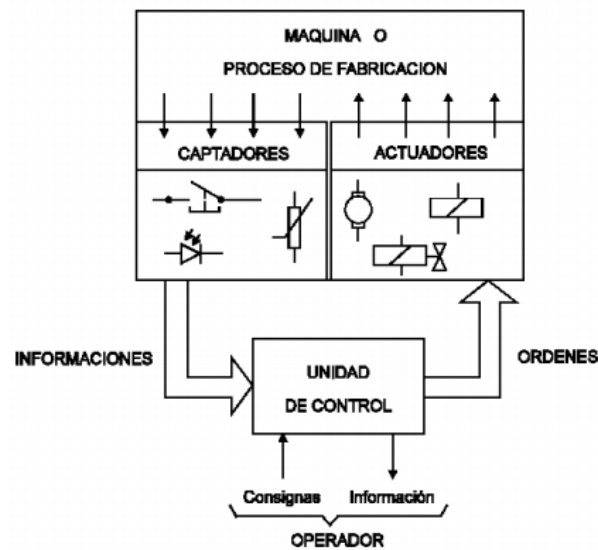
Figura 3: Clasificación de los controladores.



Fuente: *Autómatas Programables*. Mandado E. 2005.

1. Sistema de control industrial SIGMA-tronic. Como todo sistema de control, SIGMA-tronic es un sistema que tiene la capacidad de ejecutar el programa lógico, reaccionar ante información recibida por captadores y actuar sobre accionamientos de la instalación. SIGMA-tronic es un sistema de control automático, que realiza un trabajo que puede ser gobernado por el operador mediante un sistema de mando. Este sistema, cómo cualquier otro puede representarse de la siguiente manera:

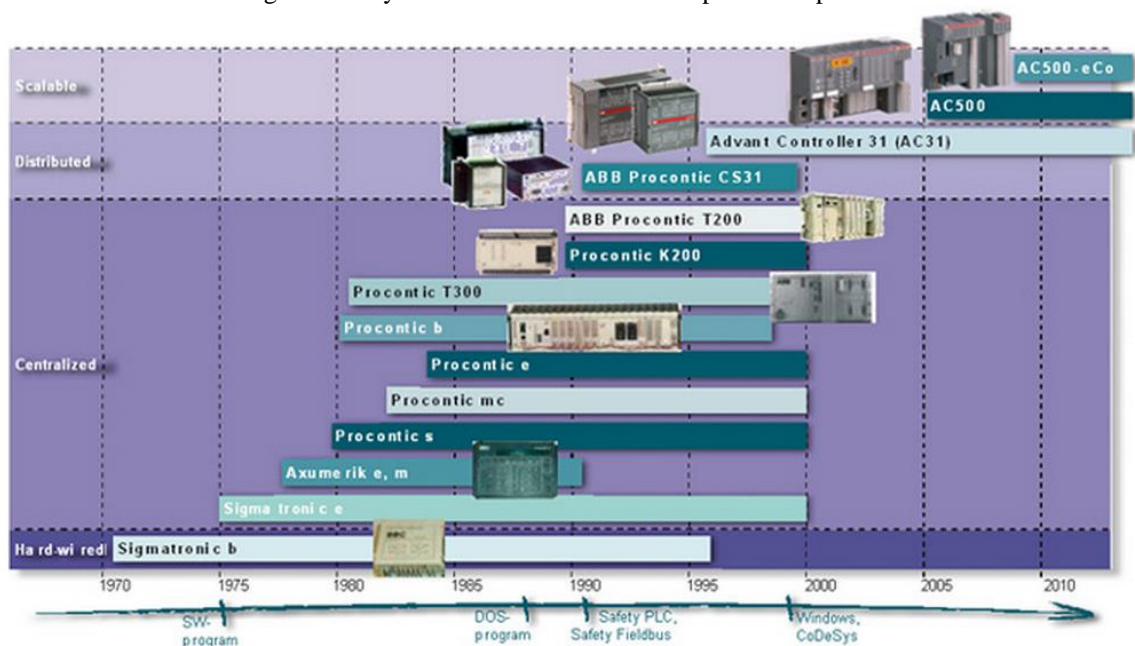
Figura 4: Representación de un sistema de control gobernado por el operador.



Fuente: *Automatización de procesos*. Infoplcn.net, 2009.

El sistema SIGMA-tronic fue creado por la Industria Suiza BBC a principios de los años setenta y dejado de fabricar en los años noventa cuando la empresa ya era ABB. Este sistema fue creado para el control industrial y es el origen de lo que se conoce como Automatización. ABB le llama a este sistema automatización cableada, ya que consiste en tarjetas de circuito impreso interconectadas con el fin de realizar la función requerida (Infoplcn.net, 2009).

Figura 5: Trayectoria de los Controladores por la compañía ABB



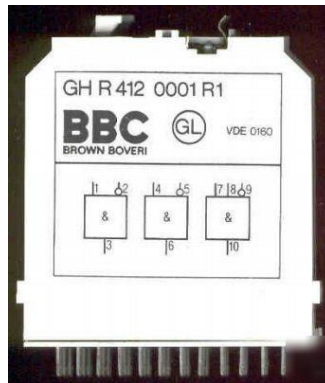
Fuente: Estado del arte de las comunicaciones en la automatización industrial. ABB Group, 2012.

SIGMA-tronic representaba el sistema perfecto para el ingeniero de control, ya que aseguraba una solución económica para las tareas a mano. En el inicio de los años setentas hasta mediados de los ochentas éste sistema facilitó el diseño, construcción, puesta en servicio y modificación de los controles de diversos equipos y accesorios que ahorra tiempo y costo para el trabajo por una cantidad considerable.

El sistema SIGMA-tronic se conforma de varios módulos con diferentes funcionalidades, los cuales son:

- ◆ Unidades de entrada
- ◆ Unidades de almacenamiento
- ◆ Unidades de tiempo
- ◆ Contadores y unidades de registro
- ◆ Unidades de señalización
- ◆ Unidades de salida
- ◆ Fuentes de alimentación
- ◆ Unidades para aplicaciones especiales
- ◆ Accesorios

Figura 6: Módulo SIGMA-tronic R 412 (AND's)

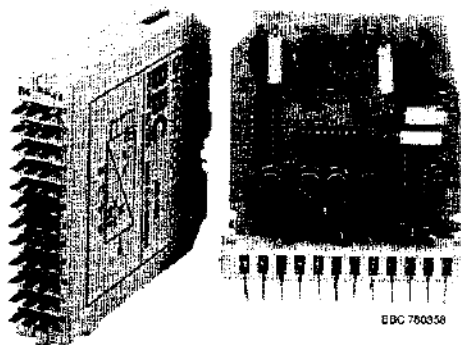


La parte básica del control de un proceso, es decir, la lógica, la programación, las unidades de almacenamiento y los elementos de enclavamiento se pueden construir a partir de unidades SIGMA-tronic ya que son elementos que están mecánica y eléctricamente diseñados de manera que su combinación con componentes electromagnéticos no ofrece problemas (ABB, 1986).

El sistema SIGMA-tronic es un sistema Booleano, por lo que maneja dos estados de señales. El estado de ON (señal 1) está representado por un voltaje positivo y el estado OFF (señal 0) por voltaje cero, por lo que para este sistema es difícil la implementación de algoritmos que no sean derivados del álgebra de Boole (ABB, 1986).

Los componentes de las unidades de SIGMA-tronic están montados en placas de circuito impreso y protegidos por una envolvente aislante (ABB, 1986).

Figura 7: Empaquetado de las unidades de SIGMA-tronic

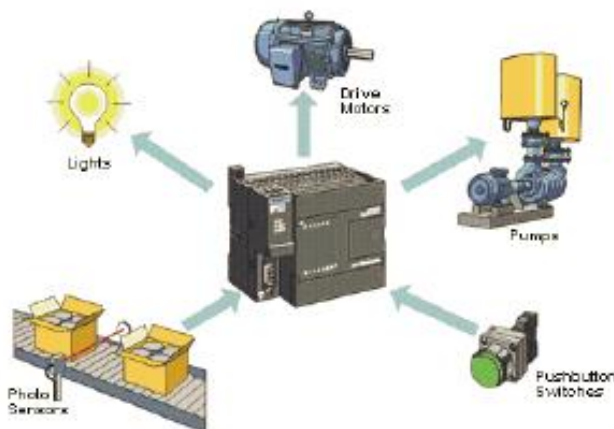


Fuente: ABB, System description. ABB, 1986.

El mayor inconveniente de este sistema se debe a la lógica cableada, ya que se necesita de mucha habilidad para interpretar los planos y para cablear los diferentes módulos.

2. PLC S7-300. Un PLC (Controlador Lógico Programable) es un dispositivo electrónico programable, en lenguaje específico, diseñado para controlar, en tiempo real y en un medio industrial, procesos secuenciales (Infopl.net, 2009).

Figura 8: Diferentes aplicaciones en control de procesos



Fuente: Automatización de procesos. infopl.net, 2009.

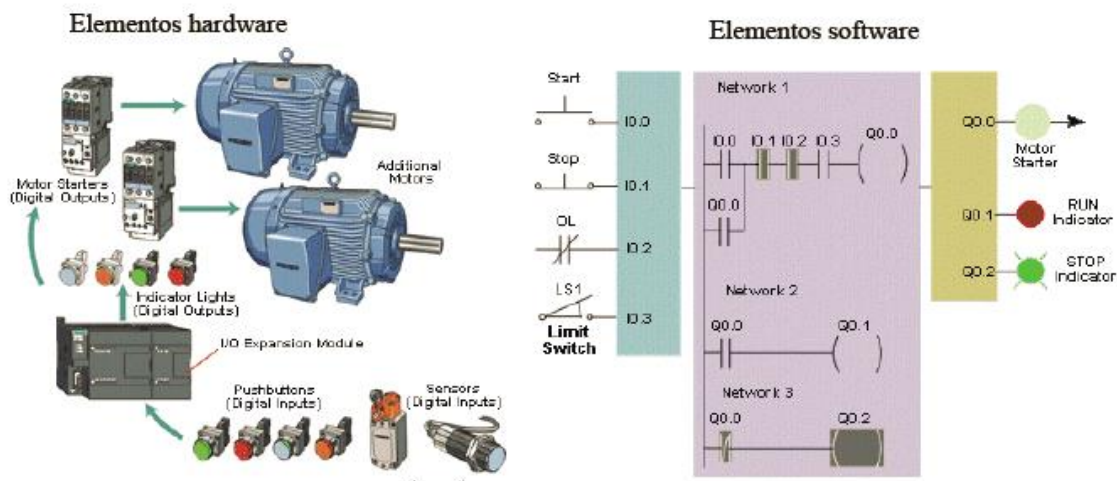
a. Lenguajes de programación. Los lenguajes de programación KOP, AWL y FUP para S7-300/400 son parte integrante del software estándar.

- KOP (esquema de contactos) es un lenguaje de programación gráfico. La sintaxis de las instrucciones es similar a la de un esquema de circuitos. KOP permite observar la circulación de la corriente a través de contactos, elementos complejos y bobinas (Infopl.net, 2009).

- AWL (lista de instrucciones) es un lenguaje de programación textual orientado a la máquina. En un programa creado en AWL, las instrucciones equivalen en gran medida a los pasos con los que la CPU ejecuta el programa. Para facilitar la programación, AWL se ha ampliado con estructuras de lenguajes de alto nivel (tales como accesos estructurados a datos y parámetros de bloques) (Infopl.net, 2009).

- FUP (diagrama de funciones) es un lenguaje de programación gráfico que utiliza los cuadros del álgebra booleana para representar la lógica. Asimismo, permite representar funciones complejas (p.ej. funciones matemáticas) mediante cuadros lógicos (Infopl.net, 2009).

Figura 9: Elementos de Hardware y de Software



Fuente: Automatización de procesos. infoplcn.net, 2009

b. **SIMATIC Manager.** Simatic Manager es un entorno profesional flexible que permite programar todos los autómatas de las familias SIEMENS S7-300 y S7-400 entre otros. Para ello está dotado de una potente colección de librerías que almacenan las características específicas Hardware (HW) de cada modelo autómata y los diferentes elementos de conexionado existentes en el mercado para configuraciones en red (Siemens, 2009).

Simatic Manager se distribuye como un conjunto de herramientas independientes que son ejecutables por separado pero que entroncan, en muchos casos con una aplicación principal interfaz con el usuario. Entre las herramientas disponibles en la distribución estándar de SM destacan (Siemens, 2009):

- ◆ Herramientas de configuración de las comunicaciones: PLC-PC mediante bus MPI, NetPro (configuración de redes industriales), etc.
- ◆ Herramientas de conversión entre archivos: por ejemplo paso del más antiguo lenguaje STEP 5 a STEP 7.
- ◆ Administrador de licencias.
- ◆ Editores de bloques para los lenguajes AWL (ensamblador S7), FUP (lenguaje gráfico mediante funciones lógicas), KOP (lenguaje gráfico mediante contactos), S7-GRAPH (lenguaje gráfico mediante graficets) y SCL (lenguaje de alto nivel).
- ◆ Simulador

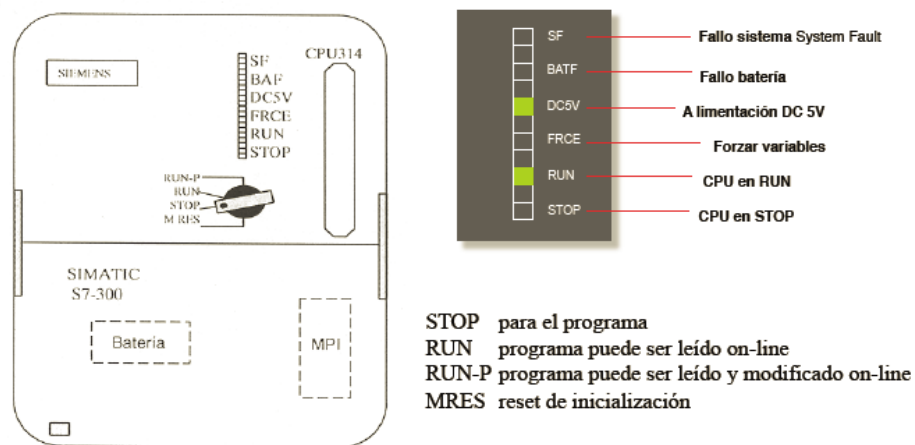
Entre los componentes de SIMATIC se encuentra el S7, que consiste en la familia de los autómatas S7-200, S7-300, S7-400 (Pérez, A. 2008).

S7 quiere decir STEP 7 que es el software estándar para configurar y programar los sistemas de automatización SIMATIC, el cual presenta las siguientes variantes (Pérez, A. 2008):

- STEP 7-Micro/DOS y STEP 7-Micro/WIN para aplicaciones stand-alone sencillas en sistemas de automatización SIMATIC S7-200 (Pérez, A. 2008).
- STEP 7 para aplicaciones en sistemas de automatización SIMATIC S7-300/400, SIMATIC M7-300/400 y SIMATIC C7 (Pérez, A. 2008).

El SIMATIC S7-300 es un controlador modular para soluciones de sistema en la industria manufacturera. El SIMATIC S7-300 está concebido para soluciones de sistema innovadoras con especial énfasis en tecnología de fabricación y, como sistema de automatización universal, constituye una solución óptima para aplicaciones en estructuras centralizadas y descentralizadas (Pérez, A. 2008).

Figura 10: Partes de un S7-300



Fuente: Automatización de procesos. infopl.net, 2009.

V. METODOLOGÍA

El cambio del sistema de control de la desencajadora de botellas representa una mejora para la Empresa, por lo que dicha Empresa calendarizó un paro de producción por seis semanas en el Salón III de embotellado, donde se encuentra la desencajadora “Holstein und Kappert”. Éste tiempo era la limitante de la duración para la migración del sistema de control y se procedió de la siguiente manera:

Tomando el tiempo como un factor muy importante se procedió a realizar un calendario de actividades, organizando cada semana de la siguiente manera:

Figura 11: Calendario de actividades previo a la implementación del sistema de control.

	Mayo 2013				Junio 2013				
	6	13	20	27	3	10	17	24	31
Toma de datos y elección de material		Notas de funcionamiento y condiciones.							
Diseño y algoritmo				Estructura del algoritmo.					
Programación y correcciones					Programación de la desencajadora.				
Pruebas finales							Pruebas y correcciones.		

Al iniciar la primera semana, luego de definir el proyecto, se estudia a la máquina y se hacen pruebas del funcionamiento y se toman notas de las condiciones observadas.

A. Observar el funcionamiento de la máquina

Se dispuso de una semana previa a la desconexión del sistema de control SIGMA-tronic para observar el funcionamiento de la máquina. Como una opción para el cambio del sistema de control era realizar la programación en base a los planos eléctricos. Esta opción fue descartada al observar que los planos eléctricos con el tiempo han sido modificadas algunas partes del control, además que la lógica de control de los planos de esta máquina son bastante difíciles de comprender. Descartando esta opción únicamente quedaba estudiar muy detalladamente la máquina para así entendiendo su funcionamiento poder realizar un algoritmo para la programación. Al transcurrir la primera semana se tomaron notas y aspectos importantes a considerar como la seguridad y la operación de la máquina, por lo que se hizo un esquema del pupitre de control para estudiar las distintas combinaciones de los selectores y de las botoneras para las distintas operaciones de la máquina.

B. Recolección de material y listado de entradas y salidas del PLC

Luego de entender el funcionamiento de la máquina y haber tomado las anotaciones necesarias de las condiciones observadas en el funcionamiento de la máquina, un técnico electricista de la planta procedió a desconectar por completo el sistema de control SIGMA-tronic y aprovechó a re cablear señales de sensores y motores como parte del mantenimiento de la máquina. En esta semana se eligió el PLC a utilizar, su elección básicamente fue debida a que era un PLC que se encontraba disponible en bodega, y cumplía con los requerimientos de la máquina. Al igual que se obtuvieron los módulos de entrada y salida digitales para dicho PLC. El PLC instalado fue un Siemens S7-300, modelo CPU 315 -1AF03-0AB0 y un módulo de 32 entradas digitales y otro de 32 salidas digitales, ambos de 24V x 0.5A.

Con el equipo a utilizar se procedió a realizar un listado de entradas y salidas gobernadas por el PLC, siendo las entradas pulsadores, selectores y sensores; teniendo como salidas motores, indicadores y electroválvulas.

C. Estructura de algoritmo y programación en SIMATIC Manager

Al tener claras las entradas y salidas que el PLC controlaría se procedió a realizar un diagrama de flujo para ordenar las ideas de programación. Teniendo una idea más clara y ordenada de las condiciones de la máquina se procedió a programar en una Programadora SIMATIC Field PG. Cuya computadora contiene la licencia de “SIMATIC Manager” para programar el lenguaje STEP 7 y trasladárselo al PLC.

El mayor problema fue que al ir programando era muy difícil poder simular todas las condiciones que debían cumplirse ya que al tener veintiséis entradas y diecinueve salidas era un poco difícil no perderse con las condiciones que debían cumplirse para una salida, por lo que esto dio lugar a que el proyecto se extendiera una semana más en la programación.

Al observar el problema que se tenía para verificar si se cumplían las condiciones, y al haber terminado el técnico en instalar el nuevo sistema de control, se comenzaron a hacer pruebas del programa ejecutándolo en la Desencajonadora. Esto mostro mejores resultados ya que de esta forma se observaba físicamente su funcionamiento y era mucho más fácil controlar las condiciones, hacer mejoras y solucionar errores en la programación.

Poder hacer estas pruebas fue gracias a los técnicos electricistas y electrónicos del salón ya que con ayuda de ellos la Desencajonadora estaba equipada con el PLC y correctamente cableadas las entradas y salidas, además de que ellos fueron parte muy importante en la ayuda para controlar las condiciones.

D. Primera prueba en producción

Luego de seis semanas arranca la línea de producción del Salón III y se prueba por primera vez en producción, con un sistema de control moderno, la desencajonadora de botellas “Holstein und Kappert”. Al arrancar la línea de producción se observaron errores de operación de la máquina. Estos errores produjeron que la desencajonadora botara todas las botellas que había succionado, esto equivale a aproximadamente 288 botellas. Todas las botellas cayeron en la banda transportadora y no en sus cajillas por lo que fue un problema ya que la línea estuvo parada aproximadamente quince minutos en lo que se corregía el problema y se limpiaba el área para que la máquina pudiese seguir funcionando. Luego de este incidente se continuó corrigiendo errores y se prestó mucha atención en las condiciones que no se habían tomado en cuenta para el correcto funcionamiento de la máquina.

E. Problemas observados con succión de botellas y transporte de cajillas

El problema ocurrido fue debido a que la máquina detectó un problema en el posicionamiento de cajillas, y esta, en lugar de liberar las botellas en sus cajillas, las mantuvo succionadas. Al retroceder la máquina para solucionar el problema ella llevó consigo las botellas succionadas. Al indicarle que continuara su proceso, la máquina sacó las cajillas que estaban en la posición de desencajonamiento e ingresó otras cajillas con botellas dentro. Esto dio lugar a que cuando la máquina regresaba a tomar envases iba a haber un choque de botellas haciendo más desastroso y peligroso el momento. Los quince minutos perdidos fue debido a que luego de quitar las cajillas llenas de botellas de la sección de desencajonamiento e indicarle a la máquina que siguiera con su operación, al llegar a la posición de succión la máquina botó las botellas, por lo que la mayoría de ellas se quebraron y otras quedaron atoradas entre las bandas. Este problema fue el mayor que se tuvo durante la producción y de inmediato se corrigieron las condiciones para que esto ya no ocurriera.

F. Problemas con topes de cajillas en sección de desencajonado

Una ventaja que mostró el sistema fue la facilidad de corregir errores en proceso de producción sin que la máquina parara. Luego de estar en observación a la máquina se detectaron otros errores en su proceso. Uno de ellos fue que los topes que detienen las cajillas en la sección de desencajonado se mantenían abajo, esto hacía que el operador estuviese acomodando las cajillas en su lugar para que la máquina operara sin dar problemas. Al revisar el algoritmo utilizado se detectó el error y se corrigió.

Luego de operar la máquina en producción se decidió dar plazo una semana más para corregir los errores y tomar en cuenta las condiciones que se habían obviado, por lo que en la siguiente semana se

hicieron ajustes sugeridos por los operadores de la máquina y se hicieron pruebas para evitar otros problemas en la producción.

G. Observación de la máquina en producción continua

Luego de haber observado y corregido los problemas se toma una semana para observar el funcionamiento de la máquina verificando que se cumplan todas las posibles condiciones que puedan ocurrir en el proceso. Durante el transcurso de esta semana no se hace ninguna mejora ya que la desencajadora no dio ningún tipo de problema, la operación y el funcionamiento es correcto, por lo que, como último punto se realizan los diagramas eléctricos del nuevo sistema y un manual de usuario que indica los modos de operación de la máquina y la manera correcta de operarla.

A continuación se muestra el calendario final de actividades realizadas durante el proyecto de la desencajadora de botellas “Holstein und Kappert”.

Figura 12: Calendario final de actividades.

	Mayo 2013				Junio 2013				
	6	13	20	27	3	10	17	24	31
Toma de datos y elección de material		Notas de funcionamiento y condiciones.							
Diseño y algoritmo				Estructura del algoritmo. Determinación de entradas y salidas del PLC.					
Programación y correcciones						Programación de la desencajadora. Pruebas iniciales y corrección de errores.			
Pruebas finales								Puesta en marcha en producción continua.	

VI. PROCESO DE DISEÑO

La desencajonadora de botellas “Holstein und Kappert” posee una variedad de componentes: electroválvulas, sensores, actuadores, motores, interruptores, pulsadores, entre otros, los cuales se identifican con etiquetas. Estas etiquetas son de gran ayuda para la interpretación de planos, del programa y ayuda a los técnicos identificar al componente.

Los componentes etiquetados con una “B” al inicio representan botoneras, interruptores o sensores inductivos. Los componentes etiquetados con una “U” al inicio, representan fotoceldas, los etiquetados con una “S” al inicio representa alguna electroválvula, los “KHM” representa a motores de bandas transportadoras y los “KMP” representa a los motores principales que mueven al cabezal. Dichas etiquetas se muestran a continuación:

A. Etiquetas de la desencajonadora de botellas

Cuadro 1: Descripción de etiquetas de la desencajonadora de botellas.

ETIQUETA	DESCRIPCIÓN
B1	Llave que habilita la alimentación del pupitre de control
B2	Habilita la alimentación de los motores
B3	Deshabilita la alimentación de los motores
B4	Habilita la operación automática de la máquina
B5	Para la operación automática de la máquina
B7	Retrocede a los motores principales
B8	Sin función
B9	Paro de emergencia
B12	Selector de modo automático
B13a	Selector en posición de bajar topes
B13b	Selector en posición de sólo transporte
B13a´ Y b13b´	Selector en posición de automático
B15	Sensor de posición para descarga de botellas

Continuación Cuadro 2

ETIQUETA	DESCRIPCIÓN
B16	Sensor de posición para carga de botellas
B23	Sensor de posición para el paro de banda transportadora de botellas (KHM4)
B24	Sensor de posición de espera para carga de botellas
B29	Sensor de transporte de botellas lleno
B30	Sensor para cambio de velocidad de motores principales, transporte de botellas casi lleno
B32	Sensor de posición fin de retroceso
U1	Fotocelda de transporte de cajillas lleno
U5	Fotocelda fin de cajillas (cajilla llegó a posición final)
U8	Fotocelda de seguridad del molde
U9	Fotocelda de seguridad del molde
U10	Fotocelda de seguridad, detección de objeto
U11	Fotocelda de seguridad, detección de objeto
U14	Fotocelda inicio de cajillas (cajilla entró)
S1	Aire para succionar botellas
S3/1	Sube y baja transporte
S4/1	Sube y baja topes
KHM1	Motor de transporte de cajillas antes de desencajonar
KHM2	Motor de transporte de cajillas de desencajonadora
KHM4	Motor de transporte de botellas
KPM7 y KPM8	Motores que hacen la función de desencajonar
LUZ VERDE	Luz que indica que la máquina está en funcionamiento
LUZ AMARILLA	Luz que indica que la máquina está en espera
LUZ ROJA	Luz que indica que la máquina se interrumpió por algún desperfecto

B. Diagrama vista de planta y lateral

Figura 13: Diagrama de planta del proceso.

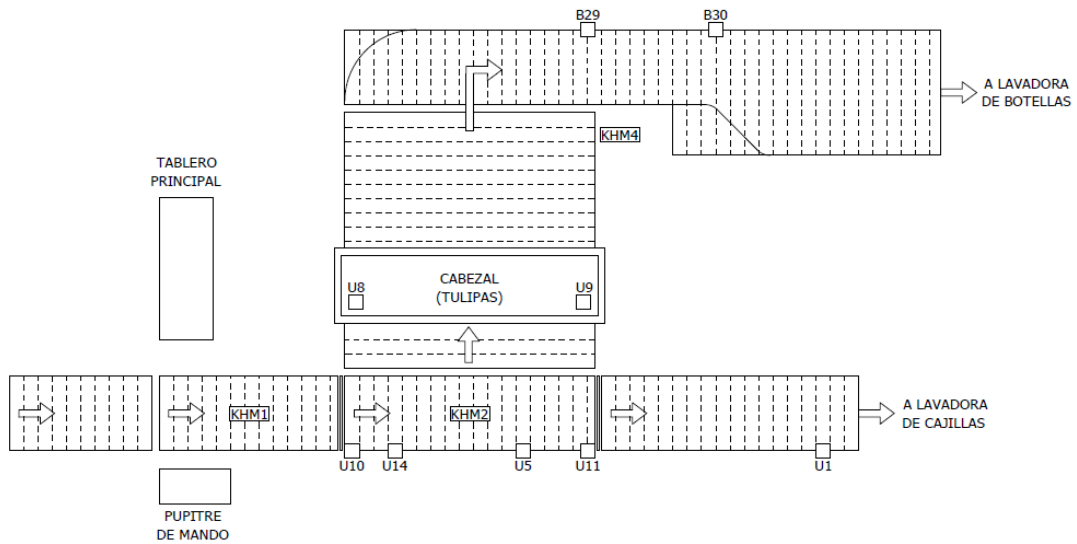
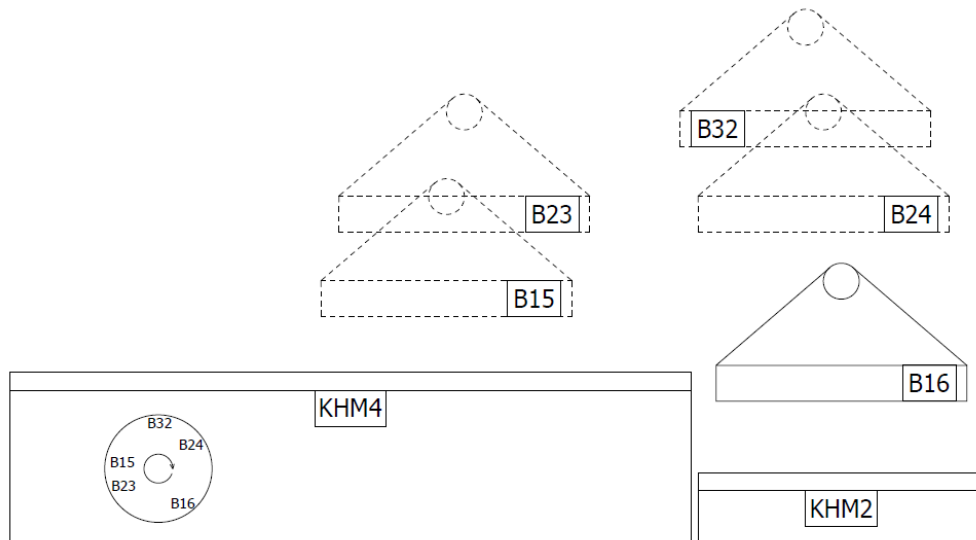


Diagrama vista lateral:

Figura 14: Diagrama lateral del proceso.



Dada las necesidades que tienen las Industrias en modernizarse para lograr hacer más eficiente sus procesos, esta fábrica embotelladora puso en disponibilidad el PLC S7-300, modelo CPU 315-1AF03-0AB0 y módulos digitales 32 de entradas y 32 salidas, ambos de 24V x 0.5A.

Las Entradas del PLC S7-300 se identifican en el Cuadro 3 utilizando un total de 26 entradas digitales.

Cuadro 3: Entradas del PLC S7-300/CPU 315

ENTRADAS	
PUPITRE DE MANDO	
ETIQUETA	DESCRIPCIÓN
B1	Llave de encendido
B2	Alimentación
B3	Paro de alimentación
B4	Automático
B5	Paro automático
B7	Retroceso de motores principales
B8	Libre
B9	Paro de emergencia
B12	Selector de modo automático
B13a	Topes suben
B13b	Selector de transporte
B13a' Y B13b'	Selector de automático
SENSORES INDUCTIVOS	
ETIQUETA	DESCRIPCIÓN
B15	Posición descarga de botellas
B16	Posición carga de botellas
B23	Posición paro de khm4 (transporte de botellas)
B24	Posición de espera hacia carga de botellas
B29	Transporte de botellas lleno
B30	Velocidad mínima
B32	Posición fin de retroceso
FOTOCELDA	
ETIQUETA	DESCRIPCIÓN
U1	Salida transporte de cajillas
U5	Fin de cajillas en khm2
U8	Seguridad 1 del molde

Continuación Cuadro 2

ETIQUETA	DESCRIPCIÓN
U9	Seguridad 2 del molde
U10	Detección de objeto 1
U11	Detección de objeto 2
U14	Inicio de cajillas en khm2

El PLC S7-300 gobierna 19 salidas digitales las cuales se identifican a continuación.

Cuadro 4: Salidas del PLC S7-300/CPU 315

SALIDAS	
ETIQUETA	DESCRIPCIÓN
D2	Funcionamiento automático
D8	Freno de motores principales
S1	Aire de tulipas
S3/1	Sube / baja transporte de entrada
S4/1	Sube / baja topes
C1.1	Motor banda transportadora entrada de cajillas lento (khm1 lento)
C1.2 / C1.3	Motor banda transportadora entrada de cajillas rápido (khm1 rápido)
C2.1	Motor banda transportadora salida de cajillas lento (khm2 lento)
C2.2 / C2.3	Motor banda transportadora salida de cajillas rápido (khm2 rápido)
C4	Motor banda transportadora de botellas lento (khm4 lento)
C7.1	Motores principales adelante
C7.2	Motores principales reversa
C7.3	Motores principales lento
C7.4	Motores principales rápido
LUZ B2	Alimentación
LUZ B4	Automático
LUZ VERDE	Máquina en funcionamiento
LUZ AMARILLA	Máquina en espera
LUZ ROJA	Máquina con desperfecto

Durante la programación del PLC fue necesario utilizar algunas variables o marcas que tienen bastante utilidad en el programa, las cuales se mencionan a continuación:

Cuadro 5: Marcas del PLC S7-300/CPU 315

MARCAS	
ETIQUETA	DESCRIPCIÓN
M10.3	Baja topes / sube transporte
M11.3	Combinación de selectores para proceso automático
M11.4	Combinación de selectores para proceso de transporte de cajillas
M10.6	Memoria de b4
M10.7	Memoria de b7
M12.0	Condiciones para entrar a reversa
M12.1	Borra memoria de u8 y u9
M12.2	Memoria de u8 y u9
M12.3	
M12.4	Memoria de u14, indica que ya entró cajilla
M12.5	Entro cajilla u5 ocupada, u14 libre
M12.6	U14 y u5 ocupadas
M12.7	
M13.0	
M13.1	
M13.2	
M13.3	
M13.4	Succionó y dejó b16
M13.5	Motores principales esperan en posición b24
M13.6	
M13.7	
M14.5	Si hubo paro por u8 o u9, khm2 no arranca
M15.7	Marca creada por b16 y borrada por b32, si está en b16 puede retroceder
M16.0	Si u5 sigue ocupada, motores principales se quedan en b24
M16.5	Si ya fue a dejar o aún no, creada por b16 y borrada por b15
M16.6	Para que continúe proceso de recoger botellas sin sacar cajillas luego de retroceder
M16.7	Marca creada por b24 y borrada por b16, para entrar a retroceso
M17.1	U8 y u9 se borran cuando se deje la posición b16
M18.0	
M18.1	
M18.2	
M18.3	
M18.4	Marca creada por b32 y borrada por b16
M18.5	
M18.6	
M18.7	
M30.0	Si u8 o u9 se activaron, deja de succionar al retroceder
M40.0	Luz amarilla -> máquina en espera

C. Ocupaciones del PLC S7-300/CPU 315

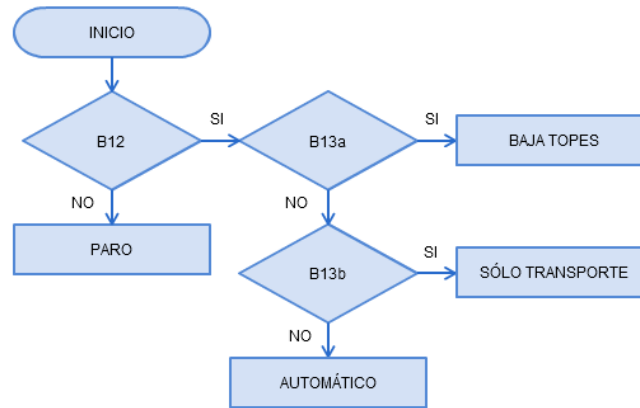
Las entradas y salidas del PLC poseen una ubicación exacta para su conexión. Esta se muestra a continuación:

Cuadro 6: Ocupaciones del PLC S7-300/CPU 315

ENTRADAS		SALIDAS	
E0.0	OB	A4.0	
E0.1		A4.1	D2
E0.2	B2	A4.2	C7.1
E0.3	B5	A4.3	C7.3
E0.4	B4	A4.4	C7.2
E0.5		A4.5	C7.4
E0.6		A4.6	D8
E0.7		A4.7	
E1.0	B29	A5.0	C1.1
E1.1	B30	A5.1	C1.2
E1.2	B32	A5.2	C1.3
E1.3	B15	A5.3	C2.1
E1.4	B16	A5.4	C2.2
E1.5	B23	A5.5	C2.3
E1.6	B24	A5.6	C4
E1.7		A5.7	S3/1
E2.0	U1	A6.0	
E2.1	U5	A6.1	S4/1
E2.2	U14	A6.2	S1
E2.3	RESERVA	A6.3	LUZ VERDE
E2.4	RESERVA	A6.4	LUZ AMARILLA
E2.5	U8	A6.5	LUZ ROJA
E2.6	U9	A6.6	LUZ B2
E2.7		A6.7	LUZ B4
E3.0	B7		
E3.1	B13/a		
E3.2	B13/b		
E3.3			
E3.4	B12		
E3.5			
E3.6			

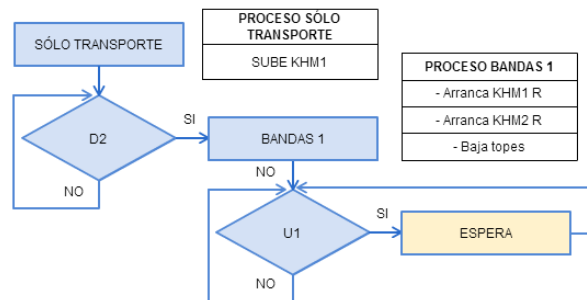
D. Diagramas de Flujo

Figura 15: Selectores.



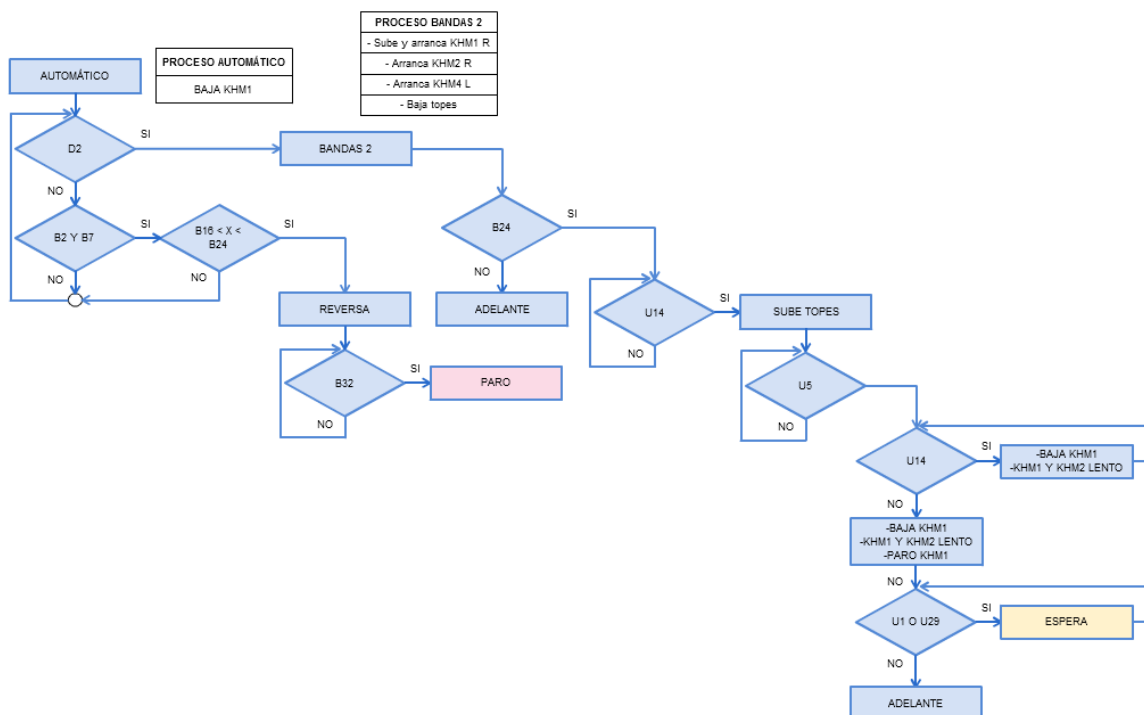
El funcionamiento de la máquina comienza seleccionando el modo de operación, siendo este, proceso de transporte de cajillas o proceso de desencajonamiento. Para que ambos procesos funcionen debe estar un selector en la posición B12, el selector B13 le indica a la máquina que proceso debe ejecutar. Con el selector en B13a la máquina baja topes de cajillas, con el selector B13b la máquina opera en modo de sólo transporte de cajillas, y estando el selector en posición media, es decir, no está en posición B13a ni en B13b, la máquina ejecuta el proceso automático que es el proceso de desencajonamiento.

Figura 16: Proceso de transporte de cajillas.



El proceso de sólo transporte se selecciona cuando las cajillas vienen vacías del despaletizado, es decir, cuando las cajillas no contienen botellas para desencajonarlas. Se selecciona este modo de operación para que la máquina no desencajone y sea mucho más rápido el transporte, las cajillas pasan directamente a la lavadora de cajillas sin ser desencajonadas. En este proceso interviene una fotocelda U1 que verifica si el transporte de cajillas se llena, si pasa esto el proceso se detiene y continúa hasta que dicha fotocelda se desocupe.

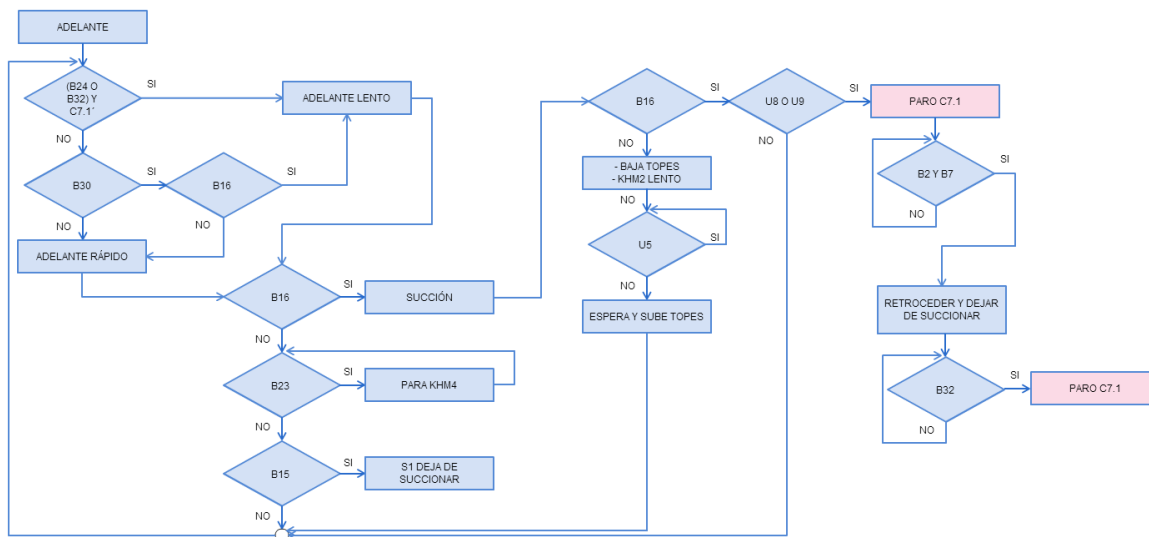
Figura 17: Proceso automático (desencajonar).



En el proceso automático verifica que D2 esté activo (D2 es la señal que le indica al PLC que el operador ha puesto la máquina en modo automático (B2 Y B4) y que no ha habido algún paro normal o de emergencia). Si esta señal se mantiene activa comienza el proceso de BANDAS 2, en caso que el cabezal de la desencajonadora no esté en posición de espera, B24, el cabezal se mueve a esa posición esperando que ingresen cajillas. Al ingresar cajillas la fotocelda U14 las detecta y sube topes, luego la fotocelda U5 las detecta y hasta que se desocupe la fotocelda U14 baja KHM1 y para, si U14 no se desocupa (cajilla atorada) KHM1 y KHM2 cambian a velocidad lenta y transporte KHM1 baja. Si el proceso no da algún problema y se desocupa U14, habiendo ya llegado la cajilla a U5, la desencajonadora verifica la fotocelda U1 y U29 para estar segura que el transporte de cajillas y de botellas no está lleno. Luego de verificar todas las condiciones anteriormente mencionadas motores principales entran al proceso ADELANTE, donde el cabezal baja a recoger botellas en cajillas (desencajona).

Regresando al inicio del diagrama de flujo tenemos que si D2 no está activo y si se presiona secuencia de retroceso (B2 Y B7) y además la máquina está entre la posición B16 y B24, el cabezal retrocede hasta la posición de reversa B32 y la máquina para.

Figura 18: Adelante y succión.



Cuando la máquina entra al proceso ADELANTE es porque verificó que esté en modo automático, que haya ingresado cajilla y se haya cumplido la secuencia de las fotoceldas U14 y U5, y que los sensores U1 y B29 estén desocupados.

La máquina descajonadora de botellas posee dos motores principales que mueven el cabezal con las tulipas, dichos motores se mueven si cumplen ciertas condiciones que se muestran en el diagrama de flujo, figura 18. Depende de las condiciones mencionadas a continuación que la máquina opere en velocidad lenta o velocidad rápida, siendo ésta velocidad controlada por un variador de frecuencia.

Si el cabezal de la máquina se encuentra en posición B24 (posición de espera) o en posición B32 (posición de fin de retroceso) y los motores principales no están en funcionamiento C7.1', la máquina opera en velocidad lenta hasta que llegue a B16 (posición de carga), siempre que el sensor B30 (sensor de mesa de botellas llena) esté desocupado, si estas condiciones se dan, la máquina cambia de velocidad lenta a rápida o viceversa en posición B16. Al llegar a la posición B16, tulipas toman botellas de cajillas y las llevan a B15 (posición de descarga) pasando primero por B23 que le indica al motor de la banda KHM4 que pare y continúe cuando deje la posición B15. Cuando la máquina "succiona" y deja la posición B16 (hacia descarga) topes bajan y salen cajillas vacías, luego de que U5 se desocupa espera un tiempo para dejar salir a cajillas, topes suben y espera cajillas. Puede ocurrir que cuando la máquina llegue a recoger botellas en posición B16, las tulipas no entren en los agujeros de las cajillas debido a que una cajilla quedo en mala posición, en este caso el cabezal se inclina y dos fotoceldas del cabezal (U8 y U9) mandan señal de parar el proceso. Cuando esto ocurre la máquina se retrocede (B2 Y B7) y suelta botellas en cajillas si las

succionó. Al llegar a posición B32 (fin de retroceso) la máquina se para y el operador continúa con el proceso automático.

E. Diagramas eléctricos

Figura 19: Selector automático.

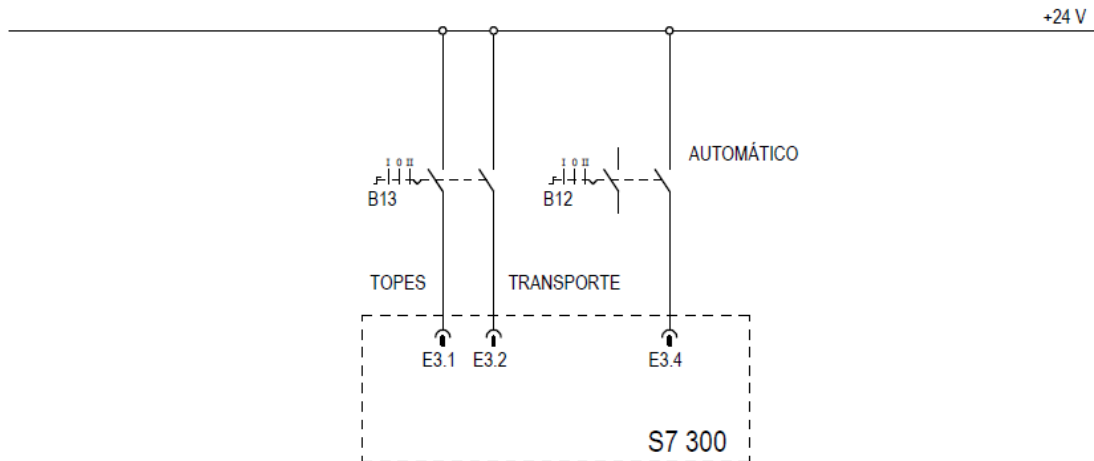


Figura 20: Tensión y seguridad.

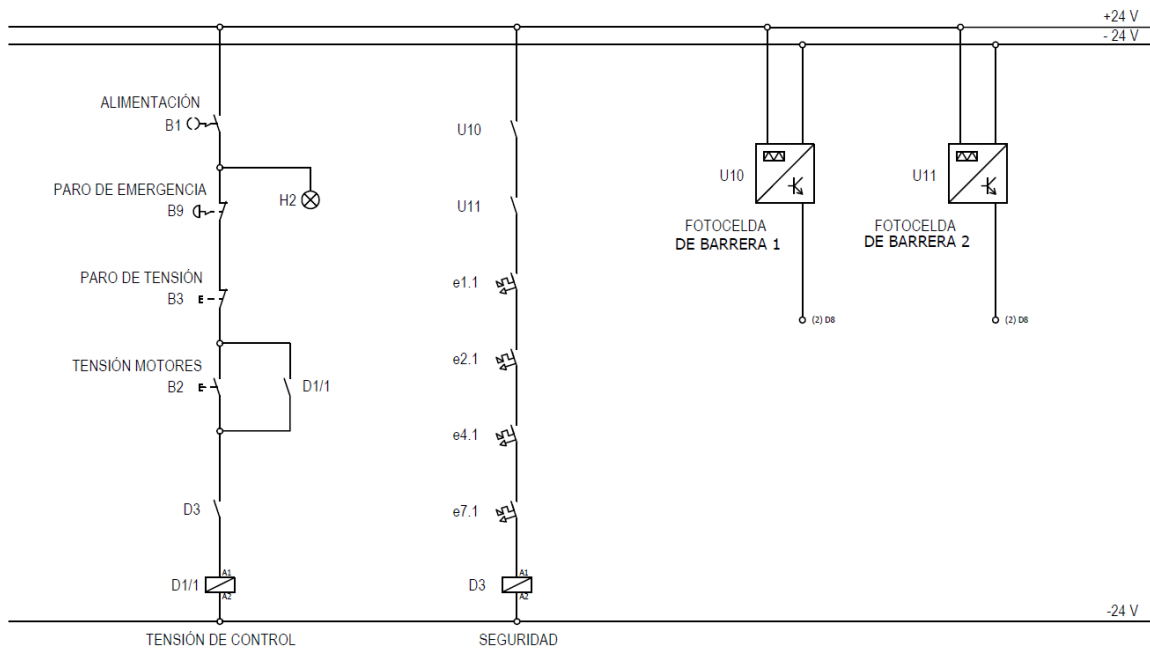


Figura 21: Botonera.

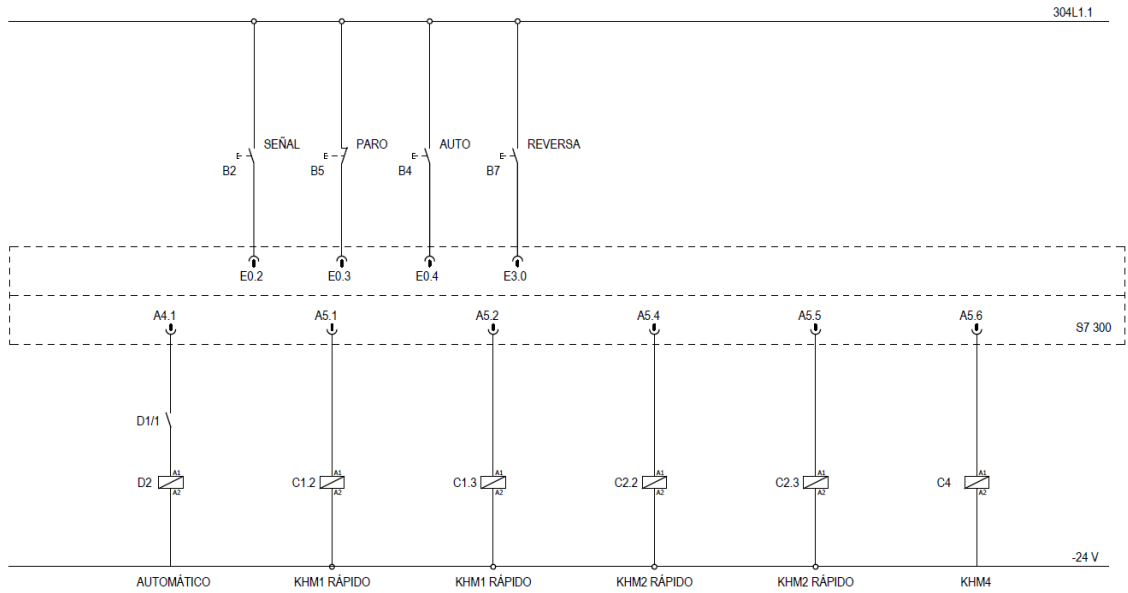


Figura 22: Control de motores de bandas transportadoras.

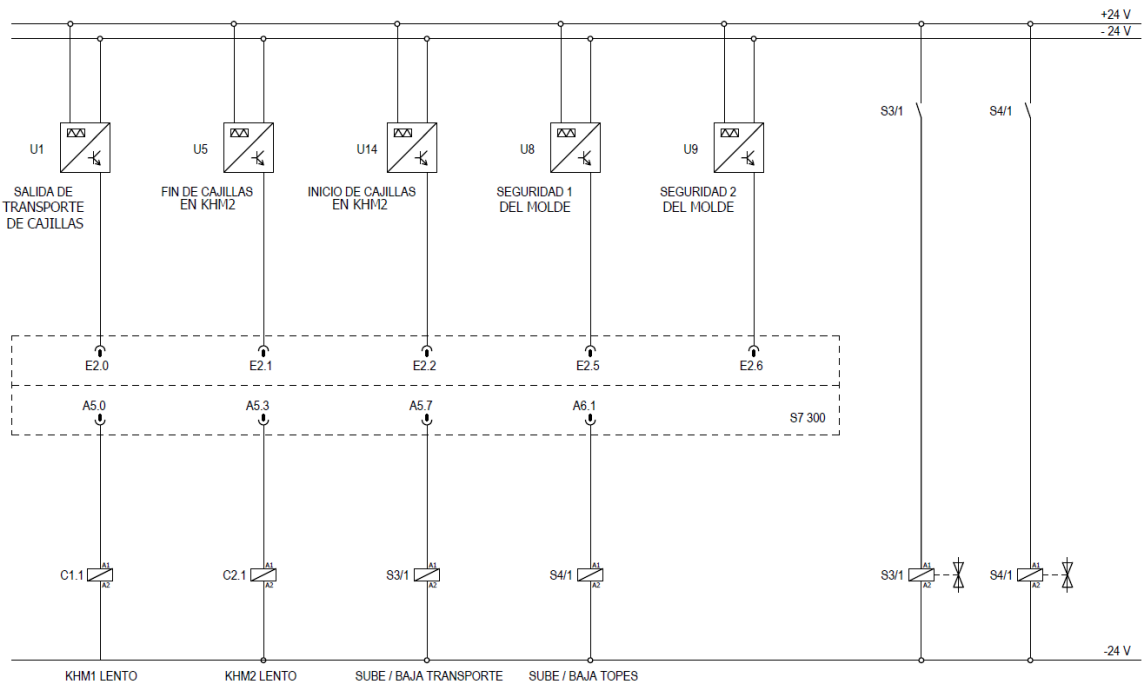


Figura 23: Motores de bandas transportadoras.

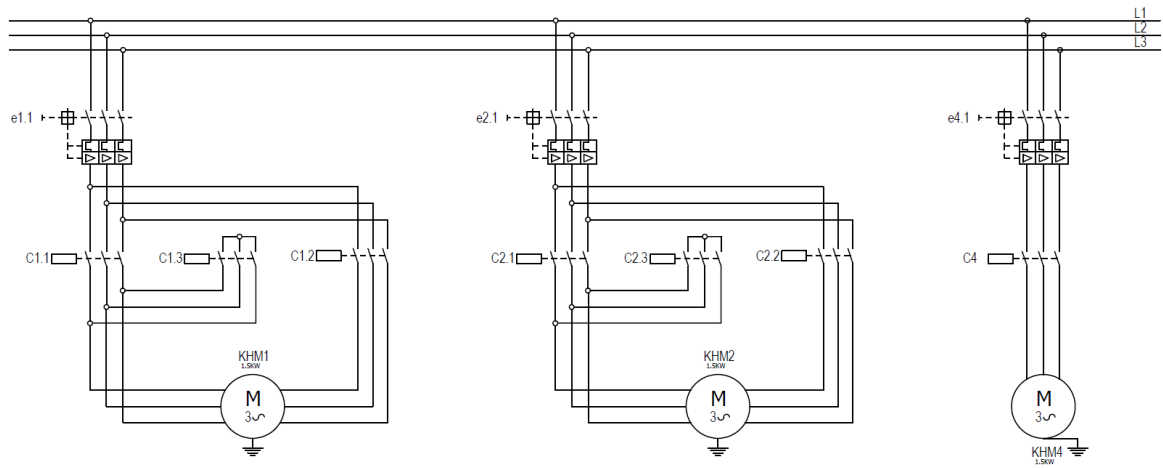


Figura 24: Sensores de posición.

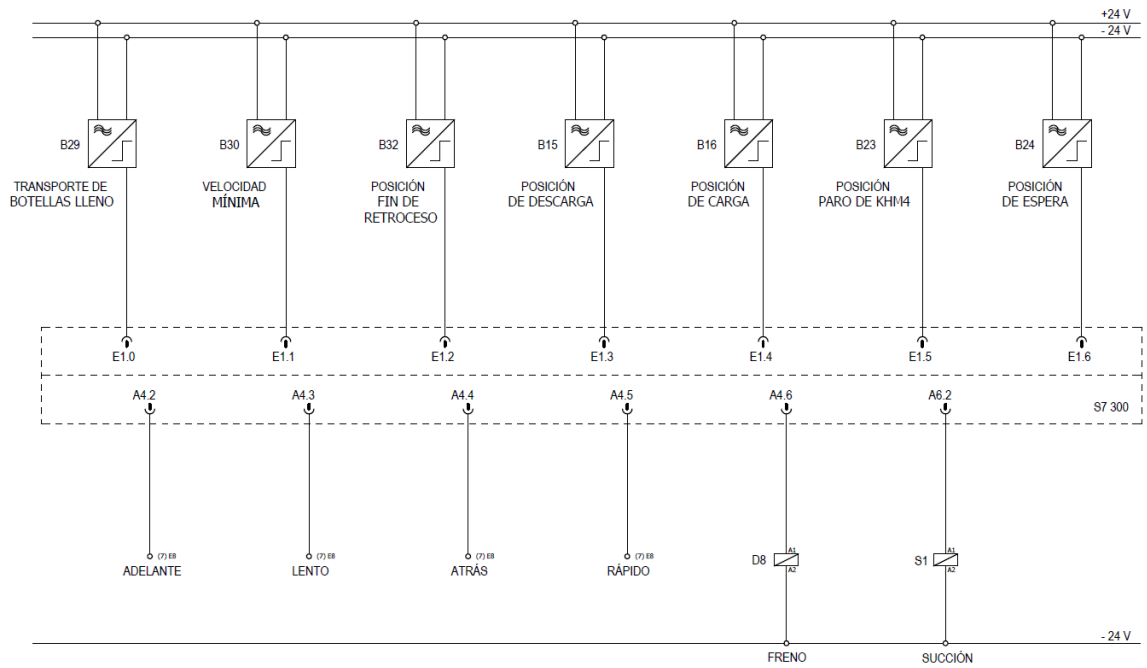


Figura 25: Motores principales.

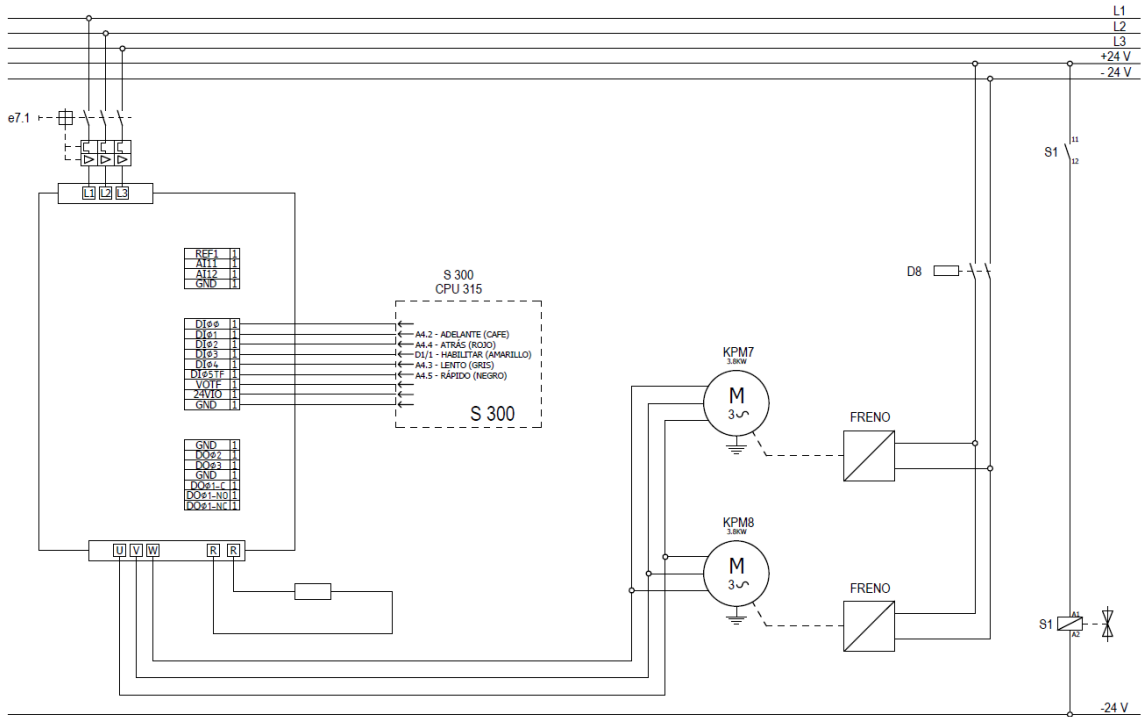
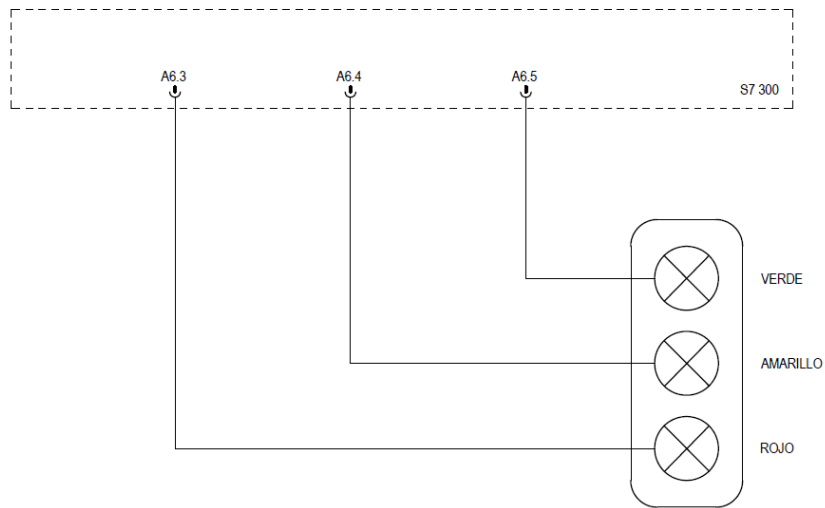


Figura 26: Semáforo.



F. Manual de usuario

El manual de usuario tiene como principal objetivo el correcto funcionamiento de la Desencajonadora de botellas “Holsein und Kappert” del Salón III. Antes de poner en funcionamiento la máquina se recomienda seguir los siguientes pasos:

1. Verificar que haya alimentación en el tablero principal.
2. Abrir la válvula de paso de aire.
3. Activar B1 ubicado en el pupitre de control.

Hecho lo anterior se puede proceder a operar la máquina en cualquiera de los dos modos: “Sólo transporte” o “Automático”.

Modo de operación “Sólo transporte”

El modo de operación “Sólo transporte” únicamente funcionan los motores de las bandas KHM1 y KHM2 en rápido, en este proceso no hay intervención de los motores principales ni de las condiciones para que estos funcionen. Éste modo de operación es utilizado para transportar cajillas vacías, donde no es necesario que el proceso de desencajonar se haga. En dicho proceso puede ocurrir un acumulamiento de cajillas dónde la fotocelda U1 detendrá a las bandas KHM1 y KHM2 hasta que U1 se libere.

Para poder operar la máquina en modo “Sólo transporte” únicamente se deben seguir los siguientes pasos:

1. Posicionar los selectores B12 y B13 en la posición derecha.
2. Presionar B2 y luego B4.

Para parar completamente el proceso se puede hacer de varias formas:

1. Presionando B3.
2. Presionando B5.
3. Presionando el paro de emergencia B9.
4. Interrumpiendo la señal de las fotoceldas de barrera U10 o U11.
5. Cambiando el selector B12 a otra posición.

Modo de operación “Automático”

El modo de operación “Automático” es el que se utiliza para el proceso de desencajonar, donde se transportan las cajillas y las botellas a sus respectivas lavadoras. En dicho proceso intervienen todas las posibles condiciones que tiene la máquina para poder operar, el proceso de desencajonar en rápido dura aproximadamente 5 segundos, mientras que en lento es el doble.

Para poder operar la máquina en modo “Automático” únicamente se deben seguir los siguientes pasos:

1. Posicionar el selector B12 en la posición derecha y el selector B13 en la posición media.
2. Presionar B2 y luego B4.

En ese momento si U14 y U5 no detectan entrada de cajillas, las bandas KHM1, KHM2 y KHM4 arrancan y los motores principales se posicionan en B24 si en caso no estuvieran ahí. Al detectar entrada de cajillas por las fotoceldas U14 y U5 comienza el proceso de desencajonar. Los motores principales pueden operar en rápido o lento, esto dependiendo de dos condiciones. La primera por arranque de motores principales estando en posición B24 o B32, la segunda por B30 que indica que la mesa de botellas se está llenando. El proceso en modo automático integra dos procesos, desencajonar y transportar cajillas y botellas. En el transporte de cajillas se sincronizan KHM1 y KHM2 con U14 y U5, que a la vez relacionan a S3/1 y a S4/1 que accionan los actuadores de transporte y de topes respectivamente, esto para subir y bajarlos en sincronía con el proceso de desencajonar.

En el modo automático pueden ocurrir situaciones que dan lugar a que la máquina pare por algún desperfecto, se quede en espera por alguna condición o se haya parado por prevención o emergencia. En cada uno de los casos existen condiciones establecidas para el correcto funcionamiento de la máquina.

Las condiciones en las que la máquina pueda parar por desperfectos pueden darse cuando se activan las fotoceldas U8 o U9, estas fotoceldas detienen a la máquina debido a que a la hora de recoger una cajilla o envase está mal posicionado. En esta situación haya o no succionado se debe seguir el siguiente procedimiento:

1. En el pupitre de control presionar B2 y luego B7.

En este momento, si succionó botellas las dejará de nuevo en las cajillas y luego retrocederá hasta la posición B32.

2. Corregir el problema.
3. Presionar B2 y luego B4 para que continúe su proceso.

Existen dos condiciones en que la máquina pueda quedarse en espera, la primera por acumulación de botellas (B29) y la segunda por acumulación de cajillas (U1). Ambas condiciones hacen que los motores principales paren en la posición B24 y continúa su proceso hasta que se desocupen.

Si se da el caso, la máquina puede ser parada por algún caso de prevención, interrupción o emergencia, éste paro repentino puede darse en cualquier estado, condición o proceso de la máquina. Ya que se habla de una máquina, la seguridad ser humano es lo más importante, es por ello que la máquina fue diseñada con un sistema de seguridad muy eficiente, dónde por cualquier motivo, inclusive si un cable se daña, la máquina para.

El operario puede parar la máquina completamente de las siguientes formas:

1. Presionando B3.
2. Presionando B5.
3. Presionando el paro de emergencia B9.
4. Interrumpiendo la señal de las fotoceldas de barrera U10 o U11.
5. Cambiando el selector B12 a otra posición.

VII. ANÁLISIS Y RESULTADOS

Según los resultados obtenidos durante un mes de pruebas se puede establecer que la máquina desencajadora de botellas “Holstein und Kappert” opera correctamente, ya que luego de la implementación del nuevo sistema, la máquina no ha mostrado ningún error en su operación. El programa ejecutado por el PLC S7-300 no ha tenido ninguna falla en su sistema (falla de programación) y el operador no tuvo ninguna inconformidad con el manejo de la máquina. Tres meses después de operación la máquina no mostró ningún problema y redujo a un 100% las fallas que mostraba con el sistema anterior.

Cuadro 7: Fallas de la máquina (Febrero 2013 – Septiembre 2013)

Sistema de Control de la desencajadora	Mes	Fallas
SIGMA-tronic	Febrero	Una
	Marzo	Una
	Abril	Una
	Mayo	Una
Pruebas con S7-300	Junio	Varias
S7-300	Julio	Ninguna
	Agosto	Ninguna
	Septiembre	Ninguna

Según la persona responsable del mantenimiento a la desencajadora de botellas, la máquina con el sistema SIGMA-tronic presentaba al menos una falla mensual, por lo que con el nuevo sistema de control PLC S7-300 se ha evitado, ya que no ha presentado ninguna falla en el tiempo que ha llevado de operación. Esto es muy beneficioso para la Empresa ya que la máquina no ha parado por inconvenientes (descritos posteriormente) durante los últimos tres meses.

A. Ventajas de STEP 7 vs. SIGMA-tronic

1. **Costos de operación.** Entre los beneficios que se muestran con la implementación del PLC S7-300 está el de reducir costos ocasionados por los desperfectos que mostraba el sistema SIGMA-tronic. Los problemas que comúnmente se producían en este sistema eran básicamente de cableado o de tarjetas defectuosas. El tiempo necesario para arreglar el sistema dependía del tipo de falla que este presentara, siendo el mejor de los casos algún cable desconectado, un cable roto o una mala conexión entre tarjetas. El tiempo aproximado para arreglar una falla (en el mejor de los casos) era de media hora, esto debido a que los técnicos acudían a una punta lógica y al plano de conexiones, dónde con ayuda de este verificaban continuidad.

Un problema de estos ocurría aproximadamente una vez al mes, representando pérdidas en la producción. Estas pérdidas se representan en el tiempo que la máquina dejó de operar y el número de botellas que no desencajonó, ya que aunque parezca que las botellas no se hayan perdido, el resto de la línea de producción depende de esta máquina y por lo tanto todo el proceso de embotellado se ve afectado en tiempo y en metas de producción por un paro de alguna máquina.

El costo, en términos de botellas no desencajonadas, que representa un paro al dejar de desencajonar varía dependiendo de tres condiciones, siendo estas las siguientes:

1. Que el transporte de cajillas esté lleno (lo detecta el sensor U1).
2. Que el transporte de botellas esté a punto de llenarse (lo detecta el sensor B30).
3. Que el transporte de botellas esté lleno (lo detecta el sensor B29).

En las condiciones 1 y 3 la máquina se queda en posición de espera (B24) hasta que alguno de los sensores se desocupe. En la condición 2 la máquina cambia de velocidad rápida a velocidad lenta. Tomando en cuenta que la máquina desencajona 288 botellas en cada ciclo y que el tiempo en que la máquina ejecuta un ciclo depende del modo en que esté operando (velocidad rápida o lenta), cada ciclo de velocidad rápida dura 10 segundos, es decir, logra desencajonar 288 botellas cada diez segundos y en modo de velocidad lenta lo hace en 20 segundos.

Cuadro 8: Número de ciclos y número de botellas en las dos velocidades
Que opera la desencajonadora de botellas

Modo de operación para desencajonar	Ciclos en cada minuto	Botellas desencajonadas en un minuto
Desencajonamiento rápido	6	1728
Desencajonamiento lento	3	864

El tiempo que la máquina se mantiene en espera es un dato que depende tanto de la lavadora de botellas como de la lavadora de cajillas, ya que si los sensores B29 o U1 se interrumpen debido a que detectan que el transporte de botellas o cajillas está lleno, entonces la máquina espera hasta que estos se desocupen.

Durante el problema que se tuvo en la primera prueba del sistema S7, cuando la desencajonadora botó todas las botellas y se perdieron quince minutos en solucionar el problema, se observó que la mesa de transporte de botellas quedó vacía. Por lo que se puede decir que la máquina tiene la capacidad de llenar la mesa de botellas en quince minutos, luego de ese tiempo la máquina cambia a modo lento y se estima que se pone en espera 20 segundos (un ciclo) cada dos ciclos, es decir, que si la máquina desencajona 288

botellas en 20 segundos ésta hace dos ciclos en cada minuto. Sabiendo que en el mejor de los casos los técnicos solucionaban el problema ocasionado por el sistema de control SIGMA-tronic en 30 minutos, se tiene lo siguiente:

Cuadro 9: Botellas sin desencajonar en 30 minutos (Caso 1)

Modo de desencajonamiento	Botellas en 1 minuto	Botellas en 15 minutos
Desencajonamiento rápido (15 min)	1728	25920
Desencajonamiento lento con espera (15 min)	576	8640
Botellas no desencajonadas en 30 min:		34560

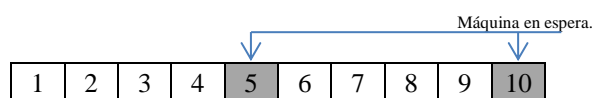
Tomando este escenario da como resultado una pérdida de 34,560 botellas no desencajonadas lo que equivale a 138,240 botellas en cuatro meses, suponiendo que la máquina para al menos una vez cada mes por desperfectos del sistema de control y les toma como mínimo media hora para su solución.

Otra forma de analizar las pérdidas de producción debido a las fallas del sistema de control SIGMA-tronic es analizar tres posibles situaciones:

1. Que la máquina opere en velocidad lenta y que espere un minuto cada cuatro minutos.
2. Que la máquina opere en velocidad lenta.
3. Que la máquina opere en velocidad rápida y que espere un minuto cada cuatro minutos.

El tiempo de espera se estimó de acuerdo a la observación que se hizo de la máquina en producción. Este tiempo indica el paro de la máquina desencajonadora debido a que se haya llenado el transporte de cajillas o botellas.

Figura 27: Tiempo de espera cada cuatro minutos



Con la tabla anterior se observa que la máquina espera un minuto luego de haber transcurrido 4 minutos por lo que al finalizar los 30 minutos el tiempo de espera habrá sido de 6 minutos.

Cuadro 10: Botellas sin desencajonar en 30 minutos (Caso 2)

Modo de desencajonamiento	Botellas no desencajonadas en 1 minuto	Botellas no desencajonadas en 30 minutos
Desencajonamiento lento con espera	864	20736
Desencajonamiento lento sin espera	864	25920
Desencajonamiento rápido con espera	1728	41472

Como se muestra en la tabla anterior, dependiendo el caso, existen variaciones en el proceso de desencajonamiento, por lo que tomando en cuenta que el proceso depende tanto de la lavadora de botellas como de cajillas y no mantiene un desencajonamiento continuo, se estima en base a los resultados obtenidos en ambos casos (Cuadro 8 y 9) una pérdida de 30,000 botellas no desencajonadas durante 30 minutos de paro de la máquina. Esta estimación se hace ya que el caso más realista es el caso 1 (cuadro 8) donde se tiene una pérdida de 34,560 botellas. El caso 2 (Cuadro 9) es menos probable ya que la máquina desencajonadora de botellas no opera sólo en velocidad rápida o sólo en velocidad lenta, por lo que teniendo en cuenta eso, y observando que 30,000 es un valor medio del rango que existe entre desencajonamiento rápido y lento (Cuadro 9), se toma el valor de 30,000 botellas no desencajonadas en 30 minutos como un dato confiable.

Al tener una estimación de lo que se perdía en tiempo y en producción por una falla en el sistema SIGMA-tronic, se puede representar lo que en cuatro meses de operación, con el nuevo sistema S7-300, mostrar un ahorro de aproximadamente 120,000 botellas.

2. Costos de instalación y obtención de repuestos. Un aspecto muy importante considerar y que fue una de las principales razones de la migración es el tema con los repuestos. El sistema SIGMA-tronic es un sistema de control industrial que se ha vuelto obsoleto, esto es debido a que la tecnología ha ido evolucionando y ha mejorado el sistema de control de máquinas industriales como lo es la automatización con STEP 7. Un punto por lo que el sistema SIGMA-tronic se ha vuelto obsoleto es porque se han dejado de fabricar tarjetas para este sistema desde los años noventa y hoy por hoy es muy difícil conseguir una de ellas. Esto representa un gran problema para toda máquina de la que no se consiguen repuestos y hace que muchas veces se recurra a comprar repuestos que son muy caros haciendo que la máquina deje de ser atractiva. En el caso del sistema de control SIGMA-tronic las tarjetas que se encuentran en el mercado tienen un precio aproximado de \$20.00 a \$40.00 cada una y se consiguen únicamente de ciertos modelos.

Cuadro 11: Precio de unidades existentes de SIGMA-tronic

Módulo SIGMA-tronic	Precio
R 414	\$ 20.09
R 412	\$ 24.11
R 421	\$ 28.93
R 522	\$ 32.13
R 511	\$ 33.75
R 436	\$ 40.17

*(Datos obtenidos de ebay 2013)

Esto para cualquier máquina controlada con este sistema ya no es viable, porque un solo proceso puede contener muchos módulos de los que ya no hay repuestos y es una necesidad de cualquier Industria migrar de un sistema de control antiguo a uno reciente para aumentar el tiempo de vida útil de la máquina, ya que sin un sistema de control que gobierne a la máquina, ésta no sirve.

La desencajonadora de botellas “Holstein und Kappert” posee aproximadamente 60 tarjetas que están interconectadas unas con otras, si se multiplica este número con un estimado de \$30.00 por tarjeta, es un equivalente a \$1,800.00 lo que cuesta aproximadamente un PLC S7-300 con sus módulos de entradas y salidas digitales.

Cuadro 12: Costos del nuevo sistema de control

Componente	Precio
PLC Siemens S7-300 CPU 315-1AF03-0AB0	\$ 980.19
SIMATIC S7-300 DI SM 321 32 X 24V DC 0.5A	\$ 481.60
SIMATIC S7-300 DO SM 322 32 X 24V DC 0.5A	\$ 525.00
Total	\$1986.79

*(Datos obtenidos de ebay 2013)

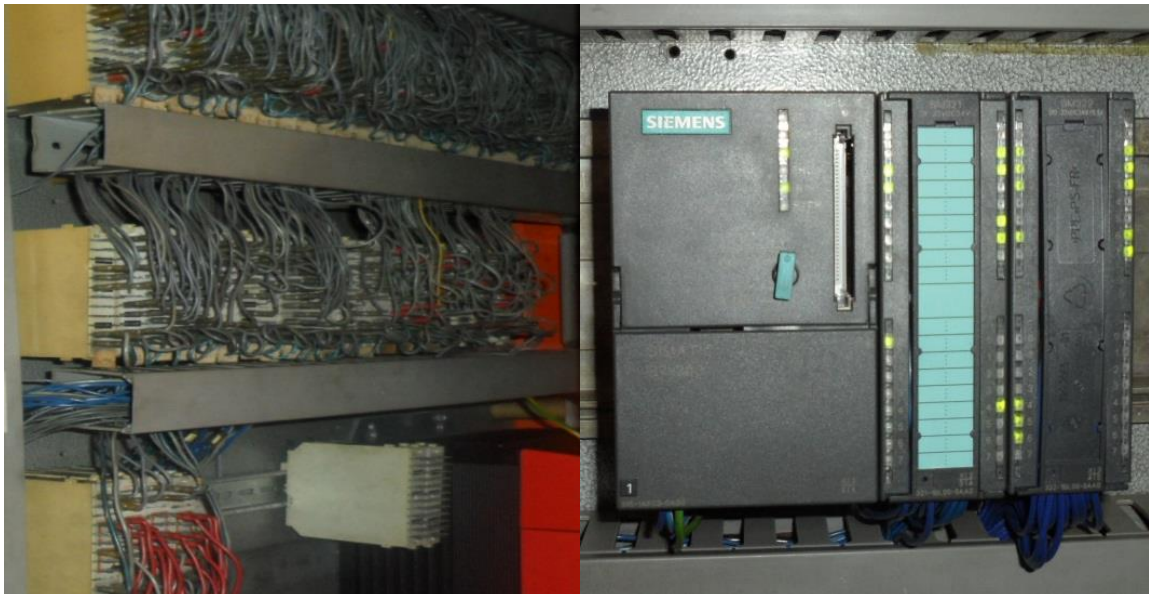
Comparando el valor obtenido con lo que podría costar los repuestos de un sistema de control SIGMA-tronic, se observa que ambos tienen un valor muy cercano en el mercado, aunque son dos sistemas completamente distintos con tecnologías diferentes, donde la mayoría de unidades SIGMA-tronic tienen más de treinta años de operación y recordando que la vida útil de un dispositivo semiconductor está determinada por la cantidad de ciclos térmicos que puede soportar sin sufrir deterioro apreciable (un

calentamiento seguido de un enfriamiento conforman un ciclo térmico) (Infoplcn.net, 2009), es muy probable por la aplicación que se trabaja que la vida útil de las unidades SIGMA-tronic estén por terminar. Sin embargo, no existe certeza de que así sea, por lo que al tratarse de una empresa de producción continua de embotellando, produciendo por cada línea de producción aproximadamente 41,000 botellas por cada hora, no se puede permitir el paro de producción por falta de un repuesto.

Esto presenta una gran ventaja con el nuevo sistema de control S7, ya que además de que se evita el problema de buscar repuestos, existen quienes lo distribuyen localmente, lo que se traduce a ahorro de tiempo ya que los módulos SIGMA-tronic que aún se encuentran en el mercado provienen de otros países lo que implica tramites adicionales y tiempo de espera.

3. Ocupación del sistema de control. El PLC S7-300 también muestra una solución al problema de la ocupación de los repuestos y del sistema, ya que no se necesita mantener en bodega varios repuestos para un mismo sistema. El PLC S7-300 está compuesto de un CPU y unidades de entradas y salidas y basta con tener un repuesto de cada uno. Esto reduce el espacio de mantener los repuestos en bodega ya que una unidad que tiene un precio aproximado de \$1,000.00 equivale a treinta y cinco unidades de SIGMA-tronic valoradas aproximadamente al mismo precio. El sistema S7-300 presenta una mejora en ahorro de espacio tanto en su instalación, cómo en evitar el espacio utilizado en almacenar varios repuestos en bodega, ya que con el sistema anterior, si se tenían treinta unidades distintas, debía haber en bodega al menos treinta unidades diferentes, con el propósito de evitar el paro de producción por falta de repuestos.

Figura 28: Comparación del sistema de control SIGMA-tronic (lado izquierdo) con un PLC S7-300/CPU 315 (lado derecho)



Cuadro 13: Dimensiones de S7 vs SIGMA-tronic

Sistema de control	Dimensiones del sistema	Área ocupada
Ocupación del sistema S7-300	20 cm x 15 cm	300 cm ²
Ocupación del sistema SIGMA-tronic	50 cm x 40 cm	2000 cm ²

En el Cuadro 12 se muestran las dimensiones del espacio que ocupa cada sistema de control, lo que el sistema S7-300 representa un ahorro de espacio bastante considerable en el cuarto de control, ya que con el nuevo sistema instalado se ahorra un 85% del espacio respecto al sistema anterior. Esto es muy ventajoso para cualquier proceso ya que se optimiza espacio y se aprovecha de mejor forma los recursos que se tienen. En este caso se instaló la resistencia (ver Figura 29) del variador de frecuencia en el lugar donde se encontraba el sistema de control SIGMA-tronic.

Figura 29: Aprovechamiento del espacio con el nuevo sistema de control S7



4. **Modificación del sistema.** Además de que el sistema SIGMA-tronic ocupa mucho espacio, existen otros inconvenientes como la poca flexibilidad para modificaciones o mejoras. Como se observó en la Figura 28 se necesita de mucha habilidad y de planos de conexiones para cablear el sistema, siendo muy complicado que un técnico sin tener la experiencia con este sistema logre entender los planos de conexiones (lógica cableada) y modificarlos para mejorar el proceso. Esto lo hace un sistema hoy por hoy poco eficiente ya que a un técnico se le dificulta lograr modificar o corregir una falla en el sistema.

El PLC S7-300 muestra otras ventajas tales como la simplificación en la elaboración de proyectos (no hay planos de contactos) esto representa más simplicidad ya que el técnico ya no tiene que estar encontrando la falla con su punta lógica siguiendo los planos, los cuales algunos han tenido modificaciones.

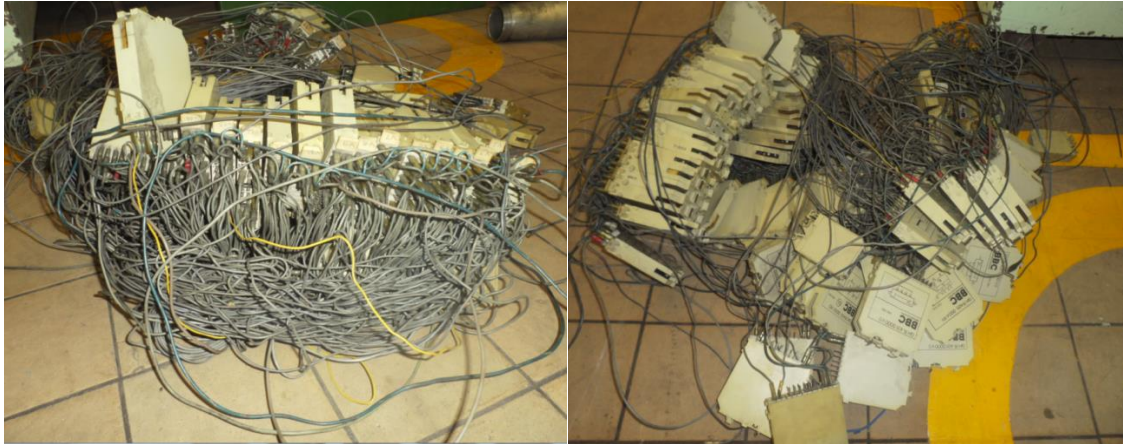
Otra ventaja es la facilidad de modificar el programa, mencionando también la instalación cómoda y sencilla minimizando el espacio. El mantenimiento es muy rápido y sencillo y existen herramientas de software para diagnóstico y reparación. La documentación del programa hace mucho más fácil el entendimiento del programa.

Además el sistema S7-300 cuenta con gran documentación gratuita en el internet, donde en forma de tutoriales explican paso a paso todo lo que se realiza, desde la configuración del programa, hasta su ejecución. Esto presenta otra ventaja respecto al sistema SIGMA-tronic, ya que no se consigue mucha información, y la que se encuentra está únicamente en inglés, lo cual presenta otro inconveniente.

5. Facilidad de traslación del sistema. Otra interrogante que refuerza la migración al PLC S7-300 es el cambio de la ubicación de la máquina, es decir, que pasaría cuando la Empresa tenga previsto comprar otra desencajadora de botellas que reemplace la instalada actualmente, o si simplemente se desea mover a otra parte de la fábrica esta máquina. Es muy importante considerar cualquier tipo de opción que se tenga en un futuro y una desventaja que mostraría haber continuado con el sistema de control SIGMA-tronic es que si algún día llega a darse el cambio de maquinaria, les tomaría mucho tiempo en lograr interconectar los módulos del SIGMA-tronic de tal forma que cumplan con su función. Como se observa en la Figura 28 no solo muestra una complejidad lograr interconectar todos los módulos correctamente, sino también les tomaría tiempo guiarse con los planos de contactos cablear de nuevo el sistema. En esta misma figura se muestra que además del espacio que ocupaba el tener instalado este sistema en el tablero principal, era muy costoso darle un mantenimiento adecuado, sumando que presentaba un costo de cableado y mucha probabilidad que algún cable se desconecte, haga mal contacto o se rompa. Teniendo todas estas consideraciones se observa que sumadas todas representan costos en tiempo y mano de obra.

6. Probabilidad de errores. La probabilidad que falle un sistema cableado es mucho mayor que la que falle un sistema programado, es por esto que el sistema de control S7-300 ha mostrado una mejora en la producción de la desencajadora de botellas. Un sistema donde existe una gran cantidad de cables interconectados incrementa la posibilidad de que algún cable se desconecte y luego ese cable puede significar tiempo de paro en la producción que se representa en pérdidas para la Empresa. Los principales problemas que ocurrían en el sistema de control SIGMA-tronic era la desconexión entre tarjetas, cables rotos y tarjetas defectuosas.

Figura 30: Resultado de desmontar el sistema de control SIGMA-tronic



7. **Detección de errores.** Como se ha observado en las Figura 28, detectar un error en el sistema de control SIGMA-tronic puede volverse complicado y tedioso al observar la cantidad de cable que se conecta a las tarjetas, esto hacía que aunque los técnicos posean la experiencia y habilidad para detectar errores, de igual forma esta detección de error les llevaba un tiempo estimado de treinta minutos (en el mejor de los casos) en lo que detectaban el tipo de falla y la corregían. Con el nuevo sistema de control instalado no se ha podido medir el tiempo que se toma el técnico en corregir el error, ya que la máquina no ha presentado fallas durante el tiempo que lleva de operación con el nuevo sistema. Pero aunque no se ha medido el tiempo en que se tarda el técnico en corregir un error, se puede estimar el tiempo que se tarda en detectar un error.

Con el sistema anterior el técnico de la máquina se tardaba como mínimo un tiempo de diez minutos en detectar la causa de la falla. Este tiempo se debía a cuanto le tomaba en observar si un cable se había desconectado, si un cable se había roto, o si detectaba que un módulo se había quemado.

Sin embargo, el sistema con el PLC S7-300 facilita y reduce el tiempo de detección de falla, ya que el PLC posee LED's que le indican al operador si está recibiendo señal en la entrada, o si está enviando señal en la salida. Esto reduce el tiempo en detectar las señales que van a los diversos motores y actuadores, al igual que en verificar las señales de los sensores.

Figura 31: Estados de señales de entrada y de salida del PLC S7-300



Sabiendo esto, y estimando que el tiempo que le toma al técnico detectar una falla en el nuevo sistema de control es de aproximadamente 3 minutos (tiempo en que el técnico observa el módulo de entrada y de salida e identifica la falla) se reduce entonces hasta en un 70% el tiempo requerido para la detección de fallas.

8. Operador de emergencia y capacitación de la persona a cargo del sistema de control. La migración al sistema de control S7 muestra también una ventaja con la capacitación del personal, ya que se evita que la Empresa dependa del técnico que conoce la máquina y su sistema, en caso sucediera que el técnico no llega a trabajar y la máquina presenta un problema, la Empresa tendría que buscar a personal que conozca sobre el sistema de control SIGMA-tronic, lo que es poco común encontrar a algún técnico que conozca de la máquina y mucho más difícil que conozca sobre el sistema de control SIGMA-tronic y sepa interpretar los planos de conexiones, es por esta razón que no solo se consigue una mejora con la flexibilidad para modificaciones, sino también se incrementa la posibilidad de que haya más personas en nuestros medios que hayan trabajado o conozcan sobre un sistema como lo es un PLC S7-300.

Se preguntó a algunas personas que tienen relación con el tema de automatización (Estudiantes de quinto año de Ingeniería de la Universidad del Valle de Guatemala), si conocían tanto el sistema de control SIGMA-tronic como el S7-300. Los resultados mostraron que un 90% de las personas entrevistadas conocen el término de S7-300, mientras que únicamente un 10% de las personas muestra tener un conocimiento muy superficial del sistema de control SIGMA-tronic.

Esto muestra que la mayoría de personas que poseen conocimientos técnicos y de ingeniería, no han escuchado de SIGMA-tronic y esto se debe a que el sistema es tan antiguo y poco usual que ya no existe en el mercado. Por esta razón, es que se determina que se amplió las probabilidades de que si hubiera algún error en el sistema, y si no se encuentra el técnico de la máquina, haya mayor probabilidad de conseguir a una persona capacitada que conozca del sistema.

La máquina desencajadora de botellas estuvo siendo controlada por el sistema de control SIGMA-tronic por más de treinta años, lo que al técnico le ha tomado aproximadamente seis años de experiencia entender y detectar problemas que con su experiencia ha logrado adquirir esa habilidad.

El cambio de un sistema automatizado a otro es un fenómeno cada vez más frecuente y está entre las consideraciones de un ingeniero de control migrar de un sistema a otro debido a sus ventajas. El resultado de la migración de un sistema de control como lo es SIGMA-tronic a otro como lo es STEP 7 conllevó varias mejoras, entre las cuales destacan las siguientes:

- ◆ Facilidad de instalación.
- ◆ Reducción de tiempo en detección de falla.
- ◆ Menor probabilidad de error.
- ◆ Sistema centralizado no cableado.
- ◆ Facilidad de cambios en el programa.
- ◆ No hay necesidad de parar la producción para hacer algún cambio en el programa.
- ◆ No hay necesidad de buscar repuestos caros y escasos como lo son los módulos de SIGMA-tronic.

Cuadro 13: Beneficios que presenta el sistema de control S7-300

Ventajas
Ocupación de espacio
Flexibilidad para modificaciones o mejoras
Mantenimiento
Localización de fallas
Corrección de fallas
Implementación de algoritmos
Facilidad de Instalación
Comprensión de planos
Elaboración de proyectos
Instalación cómoda y sencilla
Documentación

Como todo sistema el S7-300 tiene sus inconvenientes, tales son que se necesita personal técnico para la instalación y programación y para aplicaciones de pequeña envergadura puede ser un costo elevado.

VIII. CONCLUSIONES

1. Con la migración del sistema de control de la desencajadora de botellas se consigue en tres meses de operación reducir las fallas, significando un ahorro en la producción; además de un ahorro en espacio de instalación de un 85%
2. El paro de la desencajadora de botellas ocasionado por desperfectos del sistema de control SIGMA-tronic, representa una pérdida de al menos 30,000 botellas al mes.
3. La migración al sistema de control S7 presenta mejoras en la facilidad de instalación, en la reducción de tiempo en detección de fallas, en disminuir la probabilidad de errores del sistema, en la facilidad de cambios de la máquina o del programa, en reducción de costos, en obtención de repuestos y en ocupación de espacio.

IX. RECOMENDACIONES

1. La lógica del programa fue hecha en lenguaje de programación KOP debido al modo con que la máquina opera, pero para fines de mejorar y hacer el programa más eficiente se recomienda trasladar el código a un lenguaje con mayor complejidad y mejor estructuración como lo es el lenguaje de listas de instrucciones AWL.
2. Con el hecho de haber migrado a un sistema de control más moderno como lo es un PLC S7-300, se recomienda hacer una interfaz para que el pupitre de control ya no sea por medio de botoneras, sino más bien por medio de una pantalla táctil, donde en ella se muestren alertas, estadísticas, proceso y eficiencia de la máquina.
3. Se observó que en el arranque de la desencajadora algunas veces al operador se le olvida abrir la llave de paso del aire, por lo que la máquina al operar no succiona las botellas y estas salen del proceso sin ser desencajadas, por esto se recomienda añadir al sistema una electroválvula que se accione una vez se enciende el sistema de control, lo que ahorraría tiempo en este tipo de problema.

X. REFERENCIAS

- [1] ABB, «Sigmatronic b,» ABB, Enero 1986. [En línea]. Available: http://www.vaeprosys.cz/Dokumentace/Programovatelne_automaty/starsi_a_vybehove_zbozi/sigmatronic-b/2CDC120110M0201.PDF. [Último acceso: 12 Septiembre 2013].
- [2] A. Pérez, «Automatización Industrial,» Siemens y sus PLCs, Octubre 2008. [En línea]. Available: <http://automatizacion.bligoo.com/content/view/296093/Siemens-y-sus-PLCs.html>. [Último acceso: Septiembre 2013].
- [3] Ebay, «Sigma-tronic,» ebay, 2013. [En línea]. Available: http://www.ebay.com/sch/i.html?_trksid=p2050601.m570.11313.TR10.TRC2.A0.Xsigma-tronic&_nkw=sigma-tronic&_sacat=0&_from=R40. [Último acceso: Octubre 2013].
- [4] Ebay, «Siemens Simatic S7-300 CPU 315, 315-1AF03-0AB0,» ebay, 2013. [En línea]. Available: http://www.ebay.com/sch/i.html?_trksid=p2050601.m570.11313.TR0.TRC0.X+%09+Siemens+Simatic+S7-300+CPU+315%2C+6ES7+315-1AF03-0AB0%2C+Top&_nkw=%09+Siemens+Simatic+S7-300+CPU+315%2C+6ES7+315-1AF03-0AB0%2C+Top&_sacat=0&_from=R40. [Último acceso: Octubre 2013].
- [5] Ebay, «Simatic S7-300 DI SM 321 32 X 24V DC 0.5A,» ebay, 2013. [En línea]. Available: http://www.ebay.com/sch/i.html?_odkw=SIMATIC+S7-300+DIGITAL+INPUT+SM+321+32+X+24V+DC+0.5A&_osacat=0&_from=R40&_trksid=p2045573.m570.11313.TR0.TRC0&_nkw=SIMATIC+S7-300+DIGITAL+INPUT+SM+321+32+X+24V+DC+0.5A&_sacat=0. [Último acceso: Octubre 2013].
- [6] Ebay, «Simatic S7-300 DO SM 322 24V DC 0.5A,» ebay, 2013. [En línea]. Available: http://www.ebay.com/sch/i.html?_odkw=Siemens+Simatic+S7+DI+32+24v+X+0.5+a&_osacat=0&_from=R40&_trksid=p2045573.m570.11313.TR0.TRC0.XSiemens+6ES7322-1BL00-0AA0+SIMATIC+S7-300+DIGITAL+OUTPUT+SM+322+24V+DC+0.5A&_nkw=Siemens+6ES7322-1BL00-0AA0+SIMATIC+S7-300+. [Último acceso: Octubre 2013].
- [7] G. Collet, «Estado del arte de las comunicaciones en la automatización industrial y terciaria,» Universidad de Vigo, Noviembre 2012. [En línea]. Available: http://tv.uvigo.es/uploads/material/Video/16161/PONENCIA_ABB_COMUNICACIONES_JAI2012.pdf. [Último acceso: Septiembre 2013].
- [8] InfoPLC, «Automatización con PLCs,» infoPLC, Octubre 2009. [En línea]. Available: http://infopl.net/files/documentacion/automatas/infoPLC_net_1_Intro_Automatas.pdf. [Último acceso: Septiembre 2013].
- [9] J. I. C. Zamora, «Diseño y cálculo de una desencajadora de botellas,» Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1993. [En línea]. Available: http://www.cib.espol.edu.ec/Digipath/D_Tesis_PDF/D-13834.pdf. [Último acceso: Septiembre 2013].

- [10] L. M. Taverner, « PLCs ABB,» infoPLC, 2013. [En línea]. Available: <http://www.infoplcn.net/entrevistas/525-luis-miguel-taverner>. [Último acceso: Septiembre 2013].
- [11] Mandado, E. Marcos, J. Pérez, S. Fernández, C. y Armesto, I. «Autómatas Programables». International Thomson Editores Spain Paraninfo, S.A. España.
- [12] Siemens, «Automation Siemens,» Siemens, Mayo 2010. [En línea]. Available: http://cache.automation.siemens.com/dnl/DE/DEzMDg4NQAA_45531551_HB/S7gs___d.pdf. [Último acceso: Septiembre 2013].
- [13] Siemens, «S7-300,» Siemens, 2009. [En línea]. Available: <https://www.swe.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/Documents/Guia%20Rapida%20S7%20300v1.3.pdf>. [Último acceso: Septiembre 2013].
- [14] Siemens, «Simatic S7-300,» Siemens, 2009. [En línea]. Available: <https://www.swe.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/controladores/pages/s7300.aspx>. [Último acceso: Septiembre 2013].
- [15] UPM, «Entorno Simatic Manager,» Universidad Politécnica de Madrid, [En línea]. Available: http://www.elai.upm.es/moodle/pluginfile.php/1073/mod_resource/content/0/EntornoSimaticManager.pdf. [Último acceso: Septiembre 2013].

XI. APÉNDICE



