



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

PROYECTO DE GRADUACIÓN

**CONTROL AUTOMATIZADO DE NIVEL Y PRESIÓN EN UN TANQUE DE BEBIDAS
CARBONATADAS, EMSULA**

PRESENTADO POR:

21411163 HIESKAR STWOLINSKY GARCÍA

ASESOR:

ING. DARWIN REYES

CAMPUS SAN PEDRO SULA

9 DE AGOSTO, 2018

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
	2.1 ANTECEDENTES.....	2
	2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	3
	2.3 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	4
	2.4 OBJETIVOS.....	5
	2.4.1 OBJETIVO GENERAL.....	5
	2.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
	2.5 JUSTIFICACIÓN.....	6
III.	MARCO TEÓRICO.....	7
	3.1 INDUSTRIA EMBOTELLADORA.....	7
	3.1.1 CONDICIONES BÁSICAS DE CONSTRUCCIÓN E HIGIENE.....	8
	3.1.2 HIGIENE	9
	3.1.3 ÁREAS QUE REQUIEREN DISEÑO HIGIÉNICO.....	9
	3.1.4 DISEÑO ASÉPTICO.....	10
	3.1.5 AUTO DRENAJE	11
	3.1.7 OPTIMIZACIÓN EN EL DISEÑO HIGIÉNICO.....	12
	3.1.7 TRATAMIENTO DE AGUA.....	13
	3.2 BEBIDAS	14
	3.2.1 JARABE SIMPLE.....	14
	3.2.2 JARABE TERMINADO.....	14
	3.3 LLENADORAS.....	14
	3.3.1 LLENADORAS POR VOLUMEN.....	15
	3.3.2 LLENADORAS-DOSIFICADORAS.....	15
	3.3.3 LLENADORAS SEGÚN NIVEL.....	15
	3.3.4 LLENADORAS DE TIEMPO-PRESIÓN	15
	3.4 SISTEMA DE ENVASADO	16
	3.4.1 LLENADORA ROTATIVA PARA BOTELLAS.....	16
	3.4.1.1 TERMINOLOGÍA ESPECÍFICA EN LLENADORAS ROTATIVAS.....	17

3.4.1.2	ARMAZÓN Y FORMA DE ACCIONAR.....	18
3.4.1.3	MESA DE MÁQUINA.....	18
3.4.1.4	PARTE SUPERIOR DE LA LLENADORA.....	19
3.4.1.5	CONTROL DE LA LLENADORA.....	19
3.4.2	LLENADO DEL TANQUE.....	20
3.4.2.1	ELEMENTOS DE LLENADO Y VÁLVULAS.....	21
3.4.2.2	¿CÓMO EXCITAR UNA VÁLVULA DE LLENADO?.....	21
3.5	CONTROL LÓGICO PROGRAMABLE (PLC).....	22
3.5	AS-I.....	23
3.5.2	LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN EN EL PLC.....	23
3.6	CONTROL PID.....	29
IV.	METODOLOGÍA.....	36
4.1	HIPOTESIS.....	37
4.2	VARIABLES DE INVESTIGACIÓN.....	37
4.2.1	VARIABLES INDEPENDIENTES.....	37
4.2.2	VARIABLES INDEPENDIENTES.....	38
4.3	ENFOQUE Y MÉTODOS.....	38
4.4	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	39
4.5	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS.....	40
4.6	FUENTES DE INFORMACIÓN.....	40
4.7	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	41
V.	RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	41
5.1	ANÁLISIS.....	41
5.1.1	DATOS QUE TOMAR EN CUENTA DE PRODUCCIÓN.....	42
5.1.2	TOMA DE DATOS PREVIO A LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO.....	43
5.1.3	RESULTADOS.....	46
5.1.4	TOMA DE DATOS POSTERIOR A LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO.....	46
5.2	RECHAZO DE BOTELLAS.....	48
5.3	ANÁLISIS DE TOMA DE DATOS.....	52
5.3.1	ANÁLISIS DE COSTOS DE BOTELLAS RECHAZADAS.....	52
5.3.2	COSTOS POR TIEMPOS DE PARO.....	55

VI. CONCLUSIONES	59
VII. RECOMENDACIONES	60
7.1 PARA LA EMPRESA	60
7.2 PARA LA UNIVERSIDAD.....	60
Bibliografía.....	61
ANEXOS	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tipos de fallo identificados dentro de la sección de la llenadora. Izq: paros a tomar relacionados con el proyecto. Der. otro tipo de paro.....	44
Tabla 2: División del tiempo de paro total entre paros por presión y otros tipos de paro – abril.	45
Tabla 3: División del tiempo de paro total entre paros debido a presión y otros tipos de paro - Mayo (antes de implementación de proyecto). 12 de mayo: día de implementación de proyecto.	45
Tabla 4: Minutos de paro después de implementación de proyecto.	46
Tabla 5: Minutos de paro en junio. 2 de junio se implementan correcciones al proyecto posterior a una retroalimentación con operarios e ingenieros.	47
Tabla 6: Total de botellas rechazadas en abril.....	49
Tabla 7: Total de botellas rechazadas en mayo	49
Tabla 8: Total de botellas rechazadas en junio.....	50
Tabla 9: Promedio de botellas rechazadas por mes	Error! Bookmark not defined.
Tabla 10: Total de botellas rechazadas por mes.....	50
Tabla 11: Comparativa de reducción de botellas rechazadas desde abril 1 hasta mayo 11 (antes de proyecto) y mayo 12 a junio 28 (después de proyecto). Tomando fase 1 y fase 2 del proyecto como una sola.....	51
Tabla 12: Comparación entre reducción de botellas rechazadas después de cada intervención.	51
Tabla 13: Datos de producción aproximados	53
Tabla 14: Tabla comparativa de los costos por botellas rechazadas en las distintas fases del proyecto...	53
Tabla 15: Margen de utilidad no obtenido por botellas rechazadas.	54
Tabla 16: Datos de producción aproximados utilizados para el análisis de costo.....	55
Tabla 17: Relación de promedio de tiempo de paro por presentación. Asumiendo que se trabajó solo con una de estas presentaciones.....	55

Tabla 18: Promedio de botellas no producidas según la fase de avance de proyecto..... 56

Tabla 19: Margen de utilidad que se pudo haber obtenido de no ser por los minutos de paro..... 57

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: PLC Siemens S-300	23
Ilustración 2: Captura de software que utiliza diagrama de funciones.	24
Ilustración 3: Principales instrucciones que se pueden encontrar en este lenguaje.....	24
Ilustración 4: Captura de pantalla de software que utiliza el diagrama de escalera.	25
Ilustración 5: Principales instrucciones que pueden encontrar al programar con este lenguaje. .	26
Ilustración 6: Captura de software que utiliza lista de instrucciones.....	27
Ilustración 7: Principales instrucciones que se pueden encontrar al programar con este lenguaje.	27
Ilustración 8: Captura de software que utiliza SCL.....	28
Ilustración 9: Principales instrucciones que se pueden encontrar al programar con SCL.	29
Ilustración 10: Diagrama de bloque ejemplificando la retroalimentación del control PID.....	29
Ilustración 11: Gráfico de control proporcional.....	30
Ilustración 12: Gráfico de control integral.....	31
Ilustración 13: Gráfico de control derivativo.....	33
Ilustración 14: Diagrama de controlador PID.....	35

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Parámetro proporcional.....	31
Ecuación 2: Parámetro integral.....	32
Ecuación 3: Parámetro derivativo.....	33
Ecuación 4: Parámetro PID	35
Ecuación 5: Margen de utilidad no obtenido por botellas rechazadas respecto a fase 1.....	54
Ecuación 6: Margen de utilidad no obtenido por botellas rechazadas respecto a fase 2.....	54
Ecuación 7: Botellas no producidas.....	56

Ecuación 8: Margen de utilidad no obtenido por botellas no producidas respecto a fase 1 57
Ecuación 9: Margen de utilidad no obtenido por botellas no producidas respecto a fase 2 58

GLOSARIO

AGUA CRUDA: es el agua tal como se encuentra en las fuentes, en estado natural, sin tratamiento.

AGUA TRATADA: agua que después de procesos físicos, químicos y biológicos se le eliminan los contaminantes presentes en el agua cruda. El agua tratada puede ser utilizada para el consumo humano.

CO₂: es un gas incoloro, denso y poco reactivo.

FALLA: defecto o falta que presenta algo y que por tanto lo hará menos útil de lo que era o directamente no funcionará.

Higiene: conjunto de conocimientos y técnicas que se ocupan de controlar aquellos factores nocivos para la salud de los seres humanos.

JARABE: producto viscoso que se fabrica con partes definidas de agua tratada y concentrados de jarabe simple. Según el producto a realizar, variara las cantidades a mezclar de cada una.

MANTENIMIENTO: se designa al conjunto de acciones que tienen como objetivo mantener un artículo o restaurarlo a un estado en el cual el mismo pueda desplegar la función requerida o las que venía desplegando hasta el momento en que se dañó, en caso de que haya sufrido alguna rotura que hizo que necesite del pertinente mantenimiento y arreglo.

PRESIÓN: la relación que hay entre la fuerza ejercida por un cuerpo (gaseoso, líquido o sólido) y la superficie sobre la que esta se aplica. Es considerada una magnitud física. Su unidad, en el sistema métrico es el Bar.

SANEO: procesos para dar las condiciones necesarias de sanidad y seguridad mediante químicos y agua caliente. Se utiliza entre cada cambio de sabor.

I. INTRODUCCIÓN

“Si no se mide no se puede controlar, si no se controla no se puede gestionar y si no se gestiona no se puede mejorar.” (Harrington, 2005).

La necesidad de mantener una producción lo más eficiente posible ha llevado a las industrias a tener los más altos estándares tecnológicos para lograr obtener control de los puntos más críticos, ya que las máquinas y actuadores no son perfectos y en algún punto se harán pausas por alguna falla que se pueda dar. Debido a esto, la rapidez para encontrar fallos es crítica en el proceso de producción. Esto sería imposible en una industria tan grande si no se tienen controles de alta tecnología. De tal manera, se minimizan los impactos por fallas, ya que siempre existirán otros factores que producto de gran cantidad de factores.

Los controladores PID han sido parte imprescindible en la industria para controlar sistemas de manera eficiente y con la menor cantidad de error posible. Debido a que un fallo en el sistema de control de presiones podría ser muy peligroso y representaría un “paro de planta” y ya que el tiempo es un factor crítico en esta industria de líneas de producción, es necesario tener bien implementado este sistema de control.

Embotelladora de Sula (EMSULA), decidió agregar a sus paneles de control en la línea de llenado, una opción de visualización del controlador PID con las variables de presión del tanque, porcentaje de apertura/cierre de válvulas de entrada y salida de CO₂. Así mismo, la posibilidad de controlar estas mismas a cualquier valor de apertura, para diagnóstico y facilitar la identificación de fallos en un tiempo mucho menor. A su vez, restringir ciertos parámetros dentro de la pantalla para que no puedan ser modificados y que quedaran editables solamente para los técnicos de la compañía encargada de la instalación de la línea (KRONES).

El operario será capaz de monitorear en cualquier momento las distintas variables a controlar acompañadas de una gráfica que le indique el margen de error entre el valor real y “set-point”. Con el fin de ser más eficientes al momento de un paro y tener siempre control sobre el proceso.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 ANTECEDENTES

Embotelladora de Sula (EMSULA) es una empresa de alta producción, que, para satisfacer la demanda de los distintos productos, posee ocho líneas de producción completamente automatizadas. Debido a que la planta debe cumplir con la demanda, la maquinaria no para, esto genera mucho desgaste en los elementos que lo componen. El área de la producción que más padece de estos desgastes es el área de llenado. Lo que provoca muchos paros de producción, y en algunos casos llegan a ser muy prolongados.

Gran parte de la línea de producción está automatizada, en especial el área de llenado, pero no se lleva un control correcto de las variables que afectan directamente la producción. Los paros que se dan en el área de llenado llegan a ser prolongados porque no se logra identificar con rapidez en que punto específico se da el fallo. Lo cual hace que los técnicos vayan a pura intuición para identificar el problema.

Los paros afectan negativamente a la empresa en todos los aspectos. El tiempo perdido se traduce en dinero perdido y cuando se hace una intervención muy intrusiva en el equipo, debe vaciarse el tazón donde se encuentra el jarabe listo para ser embotellado. Esto se hace por normas de seguridad alimenticia bajo las cuales se rige la empresa y obviamente, también genera pérdidas monetarias a la empresa.

EMSULA busca disminuir estos tiempos de paro en la línea 3 (conocida como la línea 80). Se logrará implementando un controlador PID para tener un control de variables como la presión de entrada y salida de CO₂ que va al tazón, así como la velocidad con la que entra el jarabe a éste. Ya que estos son puntos críticos en el llenado. Así mismo, un control sobre el estado de las válvulas y la posibilidad de hacer pruebas diagnósticas para identificar fácilmente donde se encuentra el problema.

2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La llenadora de la línea 3 ha sufrido de constantes paros debido al mal funcionamiento de varios componentes. Estos paros han sido muy prolongados debido a que los técnicos no han logrado identificar de donde provenían estos fallos o que debido a las válvulas no regulan de manera correcta la presión. Los paros de producción representan pérdidas económicas. Y si las intervenciones son muy intrusivas o si son muy extensas, se debe vaciar el tazón de jarabe, ya que éste ya no cumpliría con los estándares de calidad de la empresa.

Los principales fallos son debido a fallas en la regulación correcta de las válvulas de salida y entrada de CO₂, así como en la entrada de jarabe. Lo que desemboca en problemas de presión y esto da como resultado botellas con sobrellenado o agitadas. Esto atrasa especialmente el arranque de producción luego de cada cambio de sabor y provoca, en gran medida, el rechazo de botellas debido a que éstas se caen o no tienen el nivel estipulado por calidad y son rechazadas por un sistema de detección automatizado. Estos paros de arranque han llegado a durar más de cinco horas para corregir estos problemas de presión. Además, se identificó que los operarios tenían acceso a alterar unos valores que deberían estar fijos. La alteración de estos valores predefinidos alteraría los resultados de control que manda la pantalla, lo cual confundía a los operarios y terminaban por no tomar nunca en cuenta estos valores.

El no tener controladas las variables en este punto de una manera correcta, no permite a los operarios y técnicos conocer a ciencia cierta, el estado actual de la producción y no pueden prever si ésta empeorara o se estabilizará.

La posibilidad de hacer pruebas de diagnóstico con las válvulas facilitará la detección de problemas mecánicos en las válvulas y se podrá intervenir de una manera no intrusiva en la producción mediante la regulación de apertura o cierre de las válvulas mediante la pantalla de control evitando así tener que desarmarla e intervenir en ella de manera física. Por lo cual, no se verá afectado el producto. Esto acelerará tiempos y reducirá la posibilidad de desechar el producto en los tanques. Y el control de presión correcto hará más eficiente la producción reduciendo paros por arranque y botellas rechazadas.

2.3 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1. ¿Cuáles son las variables más importantes para tener control en el proceso de llenado?
2. ¿Poder controlar las válvulas de manera remota facilitará a los operarios identificar más fácilmente algunas fallas?
3. ¿Qué problemas se pueden llegar a tener si no se tiene un control exacto de las presiones que influyen en el proceso de llenado?
4. ¿Qué ventajas puede brindar un controlador PID dentro del panel de control?

2.4 OBJETIVOS

2.4.1 OBJETIVO GENERAL

- Establecer una corrección en el sistema automático de la máquina para aumentar su eficiencia.

2.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Registrar menor cantidad de minutos de paro posterior a la implementación del proyecto.
- Establecer un sistema en la pantalla de control de la línea de llenado, que permita controlar las válvulas de manera menos intrusiva.
- Establecer una mejora en el controlador PID para el control adecuado del CO₂ en el proceso de llenado para disminuir problemas con botellas rechazadas.

2.5 JUSTIFICACIÓN

Realizar una modificación de este tipo es algo que debe realizarse con urgencia. Ya que cada minuto de paro, se traduce en pérdidas monetarias. Y un proceso no puede mejorarse si no se tiene control de variables importantes en el proceso. Identificar rápidamente los fallos para su más pronta solución es vital en una industria de gran demanda.

Debe considerarse que los días de implementación del proyecto, se harán pausas en la producción. Serán pausas breves, pero serán varias a lo largo de los días de implementación, todo con el fin de ir probando la regulación correcta de las válvulas.

Se cambiarán las válvulas para asegurar de que están en perfecto estado, se agregará la opción de mostrar un gráfico del controlador PID para determinar el grado de error entre el "set point" de nuestras variables a controlar y el valor real. Esto con el fin de que los operarios sepan realmente el estado de las presiones y si se está regulando la variación de éstas, de manera correcta en lugar de notarlo hasta que se desperdicien gran cantidad de botellas por sobrellenado o por contenido agitado. Estas botellas terminan en la sección de botellas desechadas y deben ser vaciadas, básicamente es producto desperdiciado.

Junto con eso, se agrega una opción al panel para permitir al operario realizar pruebas diagnósticas de apertura y cierre de válvulas de CO₂ para verificar si los datos mostrados por el controlador son correctos y efectivamente, hay algún fallo en las válvulas. Verificando estos problemas a tiempo, se reducirán las botellas desechadas.

III. MARCO TEÓRICO

3.1 INDUSTRIA EMBOTELLADORA

El rubro alimenticio ha estado presente en la humanidad desde hace mucho tiempo. No sólo abarcando comida, sino teniendo un sector muy importante la industria de las bebidas envasadas.

Su función principal es el envasado y distribución de distintos tipos de bebidas en regiones geográficas definidas. Debido a la globalización se pueden embotellar bebidas internacionales como regionales.

Las embotelladoras se encargan de administrar los componentes para producir el producto final. Desde tratar el agua, mezclar ingredientes de las distintas bebidas, controlar niveles de CO₂ para los procesos de carbonatación. En algunos casos también controlan los procesos de elaboración del envase, aunque una práctica común de algunas embotelladoras actuales es adquirir el envase ya fabricado y almacenarlo para su posterior uso. Todo con la finalidad de elaborar un producto con determinado estándar de calidad para ser distribuido a vendedores.

Embotelladora de Sula S.A fue constituida en 1956 y ha tenido muchos cambios a lo largo de su historia. Ha tenido grandes avances tecnológicos debido a la demanda. Actualmente cuenta con 7 líneas de producción. Cuenta con una sección de soplado de botellas y una pequeña línea de producto BIB (Bag in Box).

Sus respectivas líneas de producción se identifican cada una por el número de válvulas que posee o por un número del 1 al 7.

- Línea 72 (1): Línea de embotellado que cuenta con 72 válvulas de productos solamente para envases de vidrio.
- Línea 80 Combinada (2): línea de 80 válvulas, con la particularidad que puede trabajar con envases plásticos y de vidrio. Aunque, actualmente sólo se utiliza con envases plásticos.
- Línea 80 (3): Línea para productos de envase plástico.
- Línea 96 (4): Línea de 96 válvulas. La única línea que puede ser usada para productos de llenado caliente como lo son Gatorade, Enjoy y Té Lipton. También puede ser usada para productos carbonatados normales.

- Línea 18 (5): Línea de 18 válvulas utilizada únicamente para los productos Quanty.
- Línea 6: Línea exclusiva para productos Montana.
- Línea Lata (7): Línea de producción de llenado utilizada únicamente para envases de lata.

Como menciona (Meghan Deichart, 2006): "El alcance geográfico de la rivalidad competitiva explica algunas de las características económicas encontradas en la industria de refrescos." cada empresa tiene ciertos enfoques distintos según su ubicación y hay muchos aspectos que se deben tomar en cuenta dentro de la industria de producción de una embotelladora para diferenciarse y alcanzar el éxito:

3.1.1 CONDICIONES BÁSICAS DE CONSTRUCCIÓN E HIGIENE

La mayoría de las líneas de llenado están construidas por materiales como acero inoxidable para el transporte de los jarabes, aire, CO₂, etc. Se pueden utilizar otro tipo de materiales como plásticos para los carriles de guía o en piezas mecánicas. "Seleccionar los materiales adecuados es una de las partes más importantes a tomar en cuenta, ya que los sellos están expuestos a distintas presiones y cambios de temperatura" (R. Schäuble, 2010).

Internacionalmente los aceros inoxidables son designados generalmente con la clasificación AISI (American Iron and Steel Institute). Las normas AISI emplea un código de 3 dígitos seguido de una o más letras. El primer número indica el tipo de acero del que se trata. Los aceros austeníticos cuentan con un código que empieza por 2 o 3, mientras que los ferríticos comienzan por el número 4. Aparte del primer número, no hay alguna relación ordinal ni de composición para los otros dos dígitos utilizados en el código, mientras que las letras indican la presencia de algún elemento adicional.

Dentro de las líneas de producción también se utilizan los materiales no metálicos y son de gran importancia. Debido a que tienen propiedades distintas a los materiales metálicos se les ha asignado funciones muy específicas, sobre todo en partes mecánicas o de transporte. Sus indiferencias a medios agresivos, relativa dureza, bajos coeficientes de fricción, baja conductividad eléctrica, baja densidad, etc. Son algunos de los aspectos con los cuales se justifica su empleo dentro de esta industria.

3.1.2 HIGIENE

Las exigencias de parte de los clientes respecto a la higiene han cambiado mucho desde el inicio de las industrias de bebidas. Para proteger a los consumidores la calidad y la conservación de los productos, los componentes de la línea, aparatos y espacios de producción están regidos bajos aspectos de higiene. ¿Qué implica esto?, respetar condiciones sanitarias asignadas por entes externos. Donde se evalúan la limpieza de las instalaciones, la atención y cuidados que se le dan a los equipos y procesos, condiciones de limpieza de operarios, etc.

Uno de los efectos de tener la higiene como prioridad, son los tiempos que conllevan estos procesos de saneo. Interrumpen la producción y además que representa un costo en agua, energía, instalación de equipo de limpieza, detergente, etc. También se debe tomar en cuenta el ámbito legal que protege el medio ambiente. Ya que algunos desechos no pueden ser esparcidos libremente al ambiente, o si se detecta algún tipo de contaminación microbiológica dentro de algunas de las producciones, deben ser desechadas bajo ciertos parámetros de seguridad por algún posible riesgo futuro. Por esto debe mantenerse un control, no sólo en el producto que se fabrica y vende. Sino tener un control sobre la higiene y los procesos relacionados a esta dentro de la planta. Como dice (Hernández, 2005) "Entiendo por control la eliminación o reducción de la contaminación existente en el ambiente de trabajo hasta niveles considerados adecuados por la higiene teórica".

3.1.3 ÁREAS QUE REQUIEREN DISEÑO HIGIÉNICO

Dentro de la línea de producción se puede hacer una clara diferencia de dos áreas: las que están en contacto con el producto y las que no. Cada cual, requiere medidas de higiene y construcción distintas.

Las que están en contacto con el producto son todas aquellas partes de la máquina o transporte que alguna de sus superficies tiene contacto directo con el producto. Secciones donde puede caer, esparcirse, absorber el producto, almacenar, etc.

Para una llenadora, todo su interior, así como cada elemento de llenado, se consideran como área de contacto. Y el entorno en el cual se llenan las botellas debe ser incluido dentro del diseño higiénico. En todas estas áreas es imprescindible el máximo nivel de diseño higiénico para evitar cualquier tipo de contaminación.

El recipiente de almacenamiento de la llenadora se considera cerrado, pero en caso de algún tipo de apertura, ya sea por mantenimiento, fuga o cualquier otro motivo que no sea para el llenado de este, debe ser vaciado para cuidar la integridad del producto.

La segunda área es la que no toca el producto. Incluye exterior de tanques de almacenamiento cerrados, equipos de mezclado, depósitos. Estas áreas no tienen exigencias tan altas en el diseño higiénico.

El diseño de fácil limpieza y la limpieza fiable de instalaciones, aparatos, equipos y componentes, así como del entorno y del recinto del proceso, son requisitos básicos para condiciones asépticas.

3.1.4 DISEÑO ASÉPTICO

Toda el área debe ser diseñada de manera que sea esterilizable. Desde el equipo hasta las botellas y sus procesos. Todas estas áreas deben ser creadas para ser aptas para CIP (Cleaning in Place), que son procesos de saneo que tienen como objetivo la limpieza de sistemas de producción sin desmontar o cambiar el estado del funcionamiento. Y para su eficiente limpieza debe tenerse en cuenta cuatro elementos:

- Producto de limpieza
- Energía mecánica
- Temperatura
- Tiempo

Productos de limpieza: el detergente no es algo que deba ser seleccionado de manera aleatoria. La decisión debe estar basada en: su rápida y completa solubilidad en agua, rápida hidratación y disolución de la suciedad, alto poder secuestrante, capacidad de enjuague, compatibilidad con el equipo a limpiar, no ser corrosivo, entre otras cosas más.

Energía mecánica: en estos procesos se debe tener en consideración factores como el caudal y la velocidad de flujo para limpiar las tuberías. Si se limpian depósitos o tanques, las variables a tomar en cuenta son el caudal y la presión.

Temperatura: esta variable afecta distintos factores como la velocidad de reacción del detergente, viscosidad, etc. La elección de la temperatura depende del tipo de suciedades que

se tratarán, el detergente, los materiales del equipo, etc. ¿Qué efectos genera la temperatura?, en general duplica la capacidad de reacción química del detergente al aumentarse 10 °C.

Tiempo: hay factores que dependen del tiempo, así como disolver o los procesos fisicoquímicos. Analizando sobre la eficiencia que tiene el detergente, va eliminando la suciedad poco a poco. Sin importar que tengamos una gran cantidad de detergente, éste necesitara una determinada cantidad de tiempo antes de eliminar satisfactoriamente cualquier residuo de suciedad.

Siempre debe cuidarse contaminaciones cuando se hacen cambios de producto y así maximizar la seguridad del producto a ser elaborado. Otro de los factores importantes es minimizar el uso de agua, optimizando su recuperación. Con el fin de ser eficiente y de cuidar el medio ambiente. La pérdida de calor innecesaria es otro aspecto que tener presente y también el tiempo requerido por la limpieza CIP, para reducir ese tiempo de pausa de la producción.

"Podemos descuidar cualquier cosa en el proceso, menos la calidad de nuestro producto" (Heinz, 2002).

3.1.5 AUTO DRENAJE

Se recomienda que para las superficies horizontales de aparatos e instalaciones deben estar diseñadas de una manera tal que éstas posean un ángulo de inclinación hacia un lado. A esto se le llama que son autodrenables. Según el EHEDG (Hauser, 2018) (European Hygienic Engineering & Design Group) recomienda que este ángulo sea mayor a 3°. Y en caso no se puedan tener estas especificaciones de ser autodrenable, se deben manejar otro tipo de medidas como puede ser un secado mediante chorros de vapor y así obtener el mismo resultado. Teniendo un gran cuidado en evitar la cristalización de líquidos. Ya que esto puede provocar una pausa aún mayor por tener que eliminar estos cristales y lo que se desea es que estos procesos sean lo más rápidos y eficientes.

Un aspecto indispensable es que todas las instalaciones, componentes y aparatos envueltos en el proceso sean vaciables ya sea por si mismos o por alguna posición de vaciado. Ya que a veces el mismo montaje no permite ser vaciado este problema puede ser solucionado por alguna bomba. En el área de las llenadoras se suele utilizar las "Roof-table", las cuales poseen

una inclinación muy marcada y están ubicadas bajo la línea de llenado, para facilitar que cualquier tipo de derrame fluya sin quedarse estancado.

3.1.7 OPTIMIZACIÓN EN EL DISEÑO HIGIÉNICO

Para facilitar el diseño de higiénico de las instalaciones que se tienen dentro de la planta, se debe realizar una lista de los puntos críticos o zonas críticas para planificar todo teniendo en cuenta estas zonas.

Los aspectos más importantes que se toman en cuenta para tener un diseño optimizado hacia la higiene es la geometría de los componentes, ya que esta debe ser favorable con redondeado en las esquinas para su facilidad en la limpieza, la limpiabilidad de las partes externas, así como la del recinto de producción y todo lo que esto incluye, ya sea las áreas que están en contacto con el producto, las que no lo están; piso, puertas, tableros de mando, cableado, techos, etc. Utilizar sellos y en qué lugares no deben ser usados. Tener gran calidad en las soldaduras y tener muy presente los materiales con los cuales se trabajará.

Todo lo anterior debe ser evaluado a profundidad y sin descuidar ninguno de los aspectos. Ya que de nada sirve trabajar solo en un punto si otros factores van a entorpecer el proceso de limpieza.

EL no tener presente alguno de las zonas críticas al momento de realizar el diseño y su posterior implementación, puede llevar a un gran atraso si se percibe que el proceso de limpieza se dificulta demasiado o que ciertas disposiciones implementadas hacen imposible una limpieza impecable.

Se puede lograr una certificación como pueden ser QHD (Qualified Hygienic) o la certificación EHEDG

Como menciona (Pfeifer, 2002) "En la industria de las bebidas, la higiene del producto juega un papel muy decisivo". Esto se garantiza desde el proceso de producción, así como teniendo un control constante sobre la calidad. El enfoque en la producción debe estar volcado sobre el producto y su calidad. Pero para asegurar esto, se han ido implementando sistemas orientados hacia el control y eliminación de fallas y monitorear todas las partes dentro del proceso.

Debido a lo anterior, es que ahora los diseños de las plantas de producción son pensados y optimizados bajo aspectos higiénicos que protegen al consumidor y al medio ambiente.

3.1.7 TRATAMIENTO DE AGUA

Según (Leonard, 2008) las características químicas, físicas, biológicas y radiológicas, es lo que determina la calidad del agua y que la hacen apto para un uso determinado. Debido a que el agua es uno de los elementos más importantes dentro de la producción en la industria de bebidas, su calidad es de gran importancia en la planta.

Emsula cuenta con 5 pozos de los cuales se extrae agua para su posterior uso. El agua en su estado natural se le conoce como "agua cruda". Ésta no puede ser usada en ese estado, por lo cual se le aplica un proceso de tratado. Primero pasa a una cisterna para posteriormente agregarle cloro en pequeñas cantidades. El cloro es un oxidante que cumple con la función de desinfectante. Ya que es un oxidante fuerte ataca directamente las membranas de las bacterias y las destruye. Debido a su gran eficacia es que se puede asegurar la calidad bacteriológica del agua.

Otro de los procesos en el tratamiento de agua es en los tanques de coagulación. Estos tanques sirven para almacenar el agua y agregarle algunos químicos que estimulan a las impurezas a formar flóculos en el fondo del tanque (de ahí el nombre de "coagulación"), lo que permite que se separe del agua y desecharlo mediante filtros. Algunos de los químicos utilizados en este proceso son el sulfato de aluminio, cloro o la cal. Los residuos que quedan se deben pasar por 3 procesos de filtros de arena. Éstos retienen las impurezas que contiene el agua. Luego el agua debe pasar por los filtros de carbón, que son los que eliminan las concentraciones de cloro que quedan en el agua. Existen unos filtros pulidores por los cuales el agua debe pasar para retirar hasta la última impureza. Estos filtros poseen membranas de polietileno de 10 micras. El último paso para asegurar que no queda rastro de microorganismos y han sido eliminados completamente es el paso por lámparas ultravioletas. "El uso de filtros se ha vuelto una necesidad según ha crecido la industria a lo largo del tiempo" (Stehle G. , 2006).

Hay bebidas que requieren un proceso más en el tratamiento de agua. Son las bebidas que no son carbonatadas y son llenadas calientes, como lo son Lipton, Gatorade, Enjoy o Quanty.

Este proceso es el de osmosis inversa y logra permear el agua para lograr las exigencias de calidad.

3.2 BEBIDAS

Dentro de EMSULA se pueden dividir dos tipos de bebidas que se envasan: carbonatadas y no carbonatadas. El proceso de creación de la bebida antes de ser envasada empieza desde el tratamiento de agua, proceder a la creación del jarabe simple y conseguir el jarabe terminado.

3.2.1 JARABE SIMPLE

El jarabe simple es el utilizado para que el producto tenga la dulzura requerida. Está hecho a base de agua previamente tratada y alguna solución concentrada de edulcorante (EMSULA utiliza azúcar de caña). Siempre cuidando la calidad del producto, el jarabe simple se somete a filtros para eliminar cualquier tipo de impureza. Y para asegurar la eliminación de cualquier microorganismo y su pronto deterioro el jarabe es enfriado.

3.2.2 JARABE TERMINADO

PepsiCo define las recetas con las cuales se debe trabajar y lograr un producto bajo los parámetros adecuados. Se prepara mezclando agua tratada, jarabe y concentrados. En el carbonatador se le agrega el CO₂ y se enfría el producto. Los productos carbonatados siempre se llenan en frío. Y los no carbonatados se llenan calientes.

Antes de ser enviado a ser envasado, debe pasar por controles de calidad como controles de pH y acidez. "Mantener la calidad y la viscosidad correcta del jarabe es importante para lograr una bebida de calidad" (Garibay, 2004).

3.3 LLENADORAS

"Las llenadoras son máquinas de envasado y embalaje las cuales introducen los productos a envasar en cantidades definidas con exactitud dentro de medios de envase y de embalaje" (Hennig, 2014)

Las máquinas llenadoras para líquidos y productos pastoso dentro de envases preconfccionados y de forma inalterable sirven para envasar productos alimenticios, farmacéuticos, cosméticos o químicos. Los envases suelen ser botes o latas.

Como menciona (Narziss, 2005) las llenadoras se diferencian según dos principios de dosificación fundamentalmente diferentes en máquinas llenadoras por volumen y máquinas llenadoras pesadoras.

3.3.1 LLENADORAS POR VOLUMEN

En esta clase de llenadoras se aplican principios volumétricos de dosificación se subdividen según cuatro procesos: dosificadoras, según nivel, temporizadoras y medición con caudal.

3.3.2 LLENADORAS-DOSIFICADORAS

Éstas separan una determinada cantidad de llenado antes de introducirla en el envase y se clasifican en dos subgrupos:

- Llenadoras de vaso de medición trabajan según el principio de llenado de medida volumétrica. Y sirven para llenar productos que poseen baja viscosidad como los jugos naturales, leche y hortalizas o también productos viscosos como jarabes.

- Llenadoras de pistón poseen bombas volumétricas oscilantes encargadas de medir la cantidad de llenado previo al llenado en el envase mediante sistemas de desplazamiento de volumen variable, de émbolo oscilante o rotatorio. Se utilizan para envasar productos líquidos espesos o pastosos en botellas, vasos de vidrio, latas, bidones. Algunos ejemplos de estos productos pueden ser, por ejemplo: la ketchup, miel, mermeladas, etc.

3.3.3 LLENADORAS SEGÚN NIVEL

Éstas utilizan el contenido cúbico del envase como medida. Según (Wilmer Jenkins, 2013) diferencian sobre todo en las condiciones de presión durante el embotellado y en los sistemas de mando en el nivel de llenado.

Los envases son llenados hasta la altura predeterminada del nivel de llenado.

3.3.4 LLENADORAS DE TIEMPO-PRESIÓN

A diferencia de las otras, ésta generalmente trabaja sin presión. Un mando de intervalos de tiempo dosifica el caudal del producto.

Una de sus principales características es que como solamente controla el tiempo de llenado, es necesario mantener constante la presión inicial en el tubo conductos del producto a llenar

y los parámetros del producto (viscosidad y temperatura) para lograr una suficiente presión de llenado.

Se utiliza para llenar especialmente productos sin gas de baja viscosidad. Por ejemplo, leche, nata, jugos, productos farmacéuticos líquidos (soluciones acuosas y hasta suspensiones).

3.4 SISTEMA DE ENVASADO

“Las máquinas llenadoras constan de dispositivos de alimentación, dosificación y llenado del producto, así como de transportadores para los envases” (Dirk Drechesel, 2001)

3.4.1 LLENADORA ROTATIVA PARA BOTELLAS

El tipo de llenadora utilizada en la línea 80 (3) es una llenadora rotativa o de funcionamiento circular.

Las llenadoras rotativas en el proceso de llenado cuentan con un ángulo de tratamiento, que nos indica la parte de la llenadora donde llevan a cabo las diferentes fases del proceso. De llenado. El ángulo de llenado es la parte donde se lleva a cabo el llenado de la botella, debido a que es un caudal continuo de producto el ángulo de llenado varía con respecto al tamaño de la botella.

Es una llenadora de marcha continua y es de alto rendimiento. A pesar de tener un gran número de válvulas de llenado, se considera que es una máquina con construcción compacta. Pero tal vez su principal ventaja es la alta velocidad de llenado sin derramamiento del producto “Se caracterizan por el centrado individual muy seguro de los envases entre porta envases y válvula de llenado” (Koerv, 2007).

Al entrar a la sección de la llenadora, los envases vacíos pasan sobre un transportador de tornillo sin fin (llamado tornillo sin fin de entrada). El cual entrega los envases a la estrella de entrada conforme al espacio libre entre los puestos de llenado. La sección circular de llenado se compone de platos elevadores individuales si trabaja con botellas de vidrio, si trabaja únicamente con envases plásticos, se utilizan pinzas para sujetar y elevar la botella; las unidades de centrado y las guías externas. La parte superior de la llenadora con el depósito de reserva y las válvulas de llenado también giran.

En el caso de la línea 80 (3), cuando las pinzas elevan la botella, son centradas en la boca y el tubo de llenado es introducido en el envase. De esta manera quedan eliminados prácticamente

eventuales errores de centrado. La introducción de los tubos de llenado es activada por la elevación de las pinzas o de las válvulas de llenado. El transporte circular de los envases, el movimiento vertical de las pinzas y el centrado de son ejecutados generalmente mecánicamente. "En este punto de la producción, la eficiencia se ve claramente marcada por el estado del equipo mecánico y por su pronta reparación en caso de algún fallo" (Appelt, 2001). En caso de que una botella esté defectuosa o la pinza no logre agarrarla, el llenado es desactivado automáticamente. Y es activado nuevamente por el apriete de la botella y un sensor manda una señal electromagnética. Hay una estrella de salida que conduce a las botellas ya llenas a la taponadora (siempre con un diseño mecánico circular) para luego pasar a la una banda transportadora de salida y pasar por un control de calidad por cámara, que toma fotografías a los envases que van saliendo y compara la foto con valores preestablecidos para verificar que cada botella cumpla con distintos parámetros de calidad, ya sean:

- Que esté en un rango de llenado establecido por PepsiCo.
- Que no tenga deformaciones la botella
- Que la tapa esté bien puesta

Si no cumple con alguno de estos parámetros, la botella es desechada y su contenido debe ser vaciado. Lo que representa pérdidas para la empresa. Es por esto por lo que el llenado es uno de los puntos más críticos a lo largo de todo el proceso, ya que se juntan demasiado factores que pueden resultar en pérdidas. Mal funcionamiento mecánico que provoque un paro de fábrica, presiones de llenado incorrectas, tapas mal colocadas, botellas caídas por alguna malformación o problema de algún componente mecánico y detenga la producción. Otro error que se puede dar es en los sensores de control de calidad. "Tener un control sobre cada aspecto, por pequeño que sea, nos permite mantener los parámetros de calidad deseados" (Kunze, 2016)

Las llenadoras rotativas de alta velocidad pueden llenar hasta 84,000 envases/h, obviamente, este valor depende del tamaño y la forma del envase a llenar, así como del producto con el cual se llena.

3.4.1.1 TERMINOLOGÍA ESPECÍFICA EN LLENADORAS ROTATIVAS

Para poder hablar más a profundidad de las llenadoras rotativas, es necesario definir ciertos términos técnicos

- Circulo primitivo: describe el diámetro de una llenadora e indica la distancia entre los orificios de apertura de válvulas opuestas.
- Paso de la máquina: indica la distancia entre dos válvulas de llenado.
- Cantidad de válvulas de llenado: indica el número de válvulas de llenado instaladas en el carrusel de la llenadora.
- Ángulo de tratamiento: define la sección angular del carrusel de la llenadora disponible para la ejecución de las diferentes fases del proceso.

“El diseño de una llenadora se basa en soluciones constructivas y técnicas, ejecutadas de manera individual por los diferentes fabricantes” (MEBAK, 2002)

3.4.1.2 ARMAZÓN Y FORMA DE ACCIONAR

La llenadora descansa sobre un armazón, en el cual, un círculo primitivo de 2.16mm, también se encuentra integrado el tablero de la mesa de máquina. En caso de llenadoras de dimensiones mayores el carrusel de la llenadora es instalado sobre un bastidor independiente. El carrusel de la llenadora se hace girar por medio de una unión giratoria y un rodamiento de bolas con rueda entrada de accionamiento.

La forma en como la llenadora, las estrellas de salida y de entrada acopladas, se hacen girar es mediante un motor de corriente trifásica y correas trapezoidales y ruedas dentadas la fuerza motriz del engranaje central es transmitida hacia las estrellas de guía individuales. En las llenadoras grandes, la fuerza del motor ubicado en el carrusel de la llenadora es transmitida a través de árboles cardán hacia los elementos de la mesa de máquina en donde ruedas dentadas ejecutan las posteriores tareas de accionamiento.

3.4.1.3 MESA DE MÁQUINA

“La mesa de máquina de la llenadora contiene todos los elementos de alimentación de envases de la llenadora” (Kneissl, 2004). Así como la estrella de entrada y de salida, tornillo sin fin y está unida al carrusel de la llenadora por unas columnas que se encuentran debajo de la mesa.

Existen dos tipos de tablero de mesa:

Plancha de apoyo plana de acero, con una cubierta de acero inoxidable tipo AISI 304.

Mesa “Roof-Table” en forma de techo en acero inoxidable tipo AISI 304

Como se tocó en el punto 3.1.5 respecto al auto drenaje. La mesa roof-top, facilita el proceso de limpieza debido a su auto drenaje. Aunque el tablero de mesa plano es más económico.

3.4.1.4 PARTE SUPERIOR DE LA LLENADORA

En la parte superior de la llenadora también se encuentran distintos tipos de elementos tales como:

- Elementos de llenado y válvulas de mando para funciones adicionales
- Sistema de guiado de los envases con unidad de elevación
- Deposito anular con canales para gas, vacío y descarga
- Distribuidor giratorio de medios

Para que el producto pueda ser envasado es necesario que estén alimentados por un distribuidor giratorio de medios y que está ubicado en la parte central de la llenadora. La alimentación es efectuada desde un conjunto de válvulas de distribución instalado junto a la línea de embotellado y debe estar respectivamente conectado a sus tanques de alimentación.

Dentro del distribuidor de medios se pueden establecer cinco niveles para el producto y los medios:

- Descarga de presión
- Vacío hacia el canal de vacío
- Gas puro hacia un eventual canal de gas puro
- Gas de presurización CO₂ hacia el depósito anular
- Trayecto del producto

El líquido CIP para la limpieza interna de la llenadora es alimentado y evacuado a través de los conductos del producto y de los medios.

3.4.1.5 CONTROL DE LA LLENADORA

El aire comprimido es suministrado de dos posibles maneras:

Mediante los cilindros de mando para los movimientos de apertura/cierre de las válvulas de mando son accionadas por aire secado y a una presión de 6 bar. Para los cilindros elevadores y movimientos de ascenso se requiere 4 bar de presión, aunque en este caso el consumo por parte de los cilindros elevadores es casi cero. A no ser que existan pequeñas fugas.

Con el paso del tiempo se ha buscado incluir más y más los sistemas automatizados en el rubro de las bebidas, con el fin de acelerar procesos y evitar errores humanos. Por lo cual cualquier embotelladora de grandes cantidades de producción debe tener automatizados por lo menos sus procesos más críticos.

Estos controladores en el área de la llenadora pueden controlar este tipo de tareas:

- Ajuste de altura del depósito anular
- La regulación del nivel del producto en el depósito anular
- La transmisión de la señal de un medidor de caudal inductivo (volumetric VODM) o de sonda transsonar (Volumetric VOCl o de una sonda de nivel (Sensometric VP) o célula de pesaje
- Sensor de temperatura
- Transmisión de presión
- Válvula de seguridad
- Detectores de aproximación para el control de posición de las botellas debajo de la válvula de llenado.

Dependiendo de la complejidad suelen usarse distribuidores electrónicos de 15 o 29 salidas.

3.4.2 LLENADO DEL TANQUE

El producto que viene del distribuidor giratorio de medios es llenado poco a poco desde el fondo del depósito anular. EL nivel del producto dentro del depósito es mantenido a una altura constante; el nivel es controlado por sondas instaladas dentro del depósito. "Debe existir al menos una mirilla en la parte externa del depósito que permita verificar de manera visual adicional al personal de operación" (Vogelpohl, 2002)

La presión de llenadores medida por un transmisor de presión y mantenida al nivel deseado a través de la regulación y el distribuidor de medios.

Un conducto de gas puro para el barrido de las botellas antes del llenado, un canal de descargar a través del cual durante la fase de descarga de la presión se establece nuevamente presión atmosférica en el espacio libre superior de botellas previamente llenadas con una bebida carbonatada. Es posibles cambios a futuro es posible integrar un canal de retorno de gas para evacuar por separado el gas de retorno de la botella.

3.4.2.1 ELEMENTOS DE LLENADO Y VÁLVULAS

“Las válvulas de llenado siempre estarán presentes en cualquier línea de embotellado, es un elemento imprescindible. Ya sea que esté integrada directamente en el depósito de la bebida o montada externamente.” (Stehle G. , 2011). En Emsula, en la línea 80 (3) por ejemplo, se encuentra montada externamente. En este caso de que esté colocada externamente, puede ir directamente en el depósito o estar conectada por una unión de tubo.

Dependiendo de la ejecución del sistema de llenado, el mecanismo de apertura y cierre de la válvula es mecánico, neumático o electromagnético. El diseño de los elementos de llenado depende de las características del producto y en caso de procesamiento de varios productos la válvula de llenado es seleccionada en función del producto de características difíciles.

Los distintos tipos de componentes constructivos son prácticamente iguales en una llenadora rotativa. Las válvulas poseen características específicas que definen los diferentes modelos de llenadoras. Estas características son:

- Excitación de las válvulas de llenado
- Presión dentro del depósito anular y del envase
- Medición de la cantidad y del nivel de llenado.
- Cantidad de válvulas de mando o de funciones
- Construcción del elemento de llenado.

3.4.2.2 ¿CÓMO EXCITAR UNA VÁLVULA DE LLENADO?

La apertura y cierre de las válvulas de llenado funcionan según dos principios diferentes. Una forma de activar mecánicamente la válvula de llenado consiste en abrir la válvula al apretar la botella contra ella. Para ello el porta envases empuja la botella contra la tulipa de centrado. Durante el proceso de compresión se comprime un resorte instalado en la parte externa de la válvula, liberando el ingreso del producto. En este caso el cono de la válvula es estático. Otro tipo de accionamiento mecánico es mediante que la botella sea apretada contra la válvula de llenado a través de un conjunto elevador mandado por rodillos.

Cuando el nivel del líquido toca el borde inferior del tubo de retorno de gas, se interrumpe la entrada del producto debido a que el gas ya no puede ser evacuado. De nuevo un mecanismo

de mando instalado en el carrusel de la llenadora se encarga de cerrar la válvula de llenado. Todos estos procesos han sido ampliados mediante elementos electrónicos.

El impulso electrónico es transformado en un impulso neumático. Este impulso activa el cilindro de mando ubicado en la parte superior del depósito anular. El cual, abre la válvula. Las demás fases de llenado son iguales. El motivo de agregar una función electrónica a este sistema mecánico radica en la creciente diversidad de tipos y tamaños de botellas que deben ser procesados con un sistema de llenado. En estos casos un sistema puramente mecánico con empujadores y palancas de mando resulta menos conveniente ya que cada cambio de botella implica un cambio de los mecanismos de mando. "Con el almacenamiento de datos y de las presiones específicas de cada producto, esta función electroneumática adicional permite garantizar un rendimiento y una calidad óptima para los diferentes productos" (Wagner, 2006).

3.5 CONTROL LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)

Es un dispositivo de estado sólido que se utiliza para el control de procesos secuenciales que se ejecutan en un proceso. Todo equipo en las líneas de producción está directamente relacionado, ya que controla las acciones de cada componente mediante pulsos que son programados previamente según sea la acción que realizar. Una de las ventajas que éstos poseen es que pueden ser programados y adaptados para el control de cualquier tipo de máquina.

Su principal función es automatizar procesos. Comparan señales de entrada y según su programación, dan una o varias señales de salida.

Para la comunicación entre los procesos se utilizan métodos llamados "protocolos". Son procedimientos y reglas que se deben respetar para el envío y recepción de datos a través de alguna red.

Según (Enciclopedia de Conceptos, 2018) "es el conjunto de reglas y estándares que tienen como fin controlar las secuencias de los mensajes que suceden en una comunicación entre las entidades que forman parte de una misma red."



Ilustración 1: PLC Siemens S-300

Fuente: (Krones, 2014)

3.5 AS-I

Debido a que es el más económico y es el ideal para lograr una comunicación entre sensores y actuadores. La red AS-i es la elegida por la empresa para este tipo de tareas. Una de sus principales ventajas es que solo necesita de un cable para conectar los módulos de entradas y salidas (sin importar el fabricante).

Su facilidad para la implementación es vital. Ya que no se requiere un manejo total sobre redes industriales o protocolos de comunicación.

3.5.2 LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN EN EL PLC

Debido a que cada fabricante de PLC desarrolla su propio software para trabajar en ellos. Podría pensarse que al cambiar de fabricante habría que empezar de cero. Pero en realidad, existen tipos de lenguajes que son usados por la gran mayoría de fabricantes, para dar facilidades a sus usuarios.

Diagrama de funciones: lógica íntimamente ligada con la lógica booleana. Utiliza las funciones lógicas tales como: OR, AND, NOT, XOR, NAND, NOR, etc. Así como la utilización de funciones matemáticas complejas en forma de bloques.

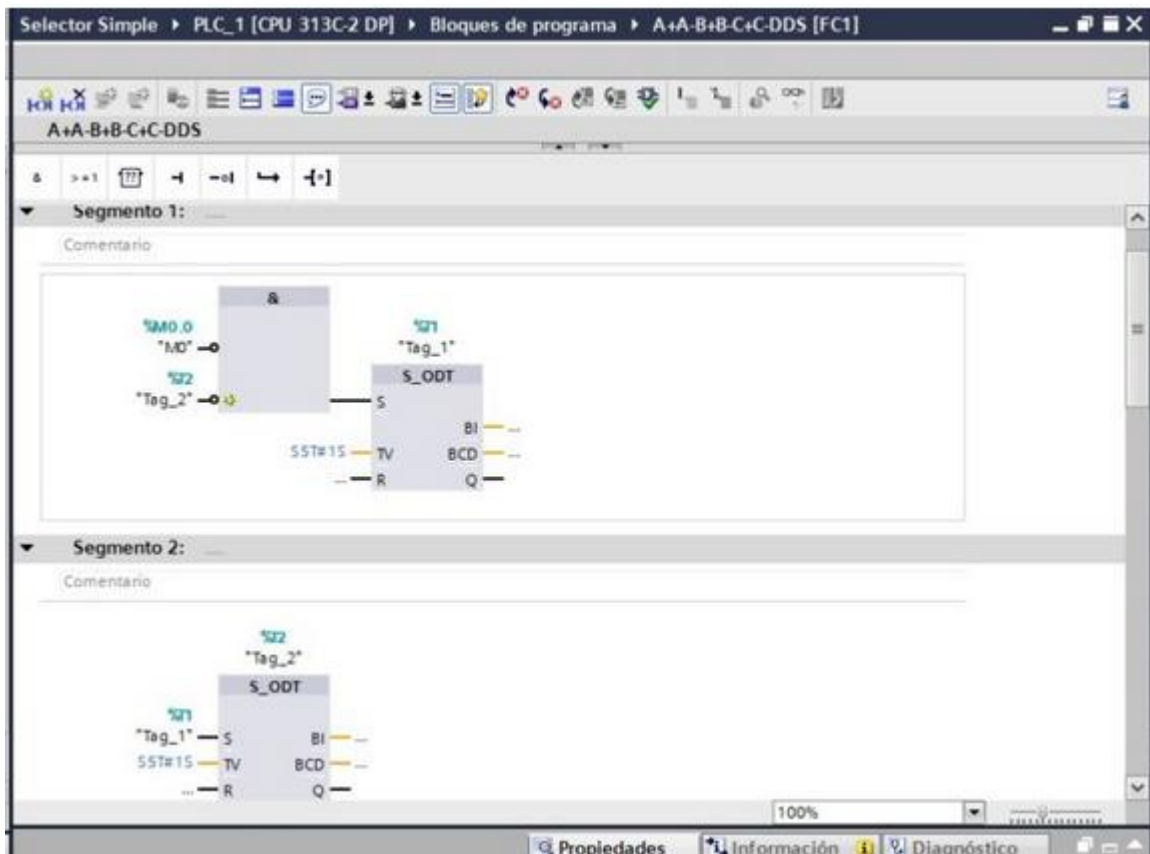


Ilustración 2: captura de software que utiliza diagrama de funciones.

Fuente: (Gútez, 2017)

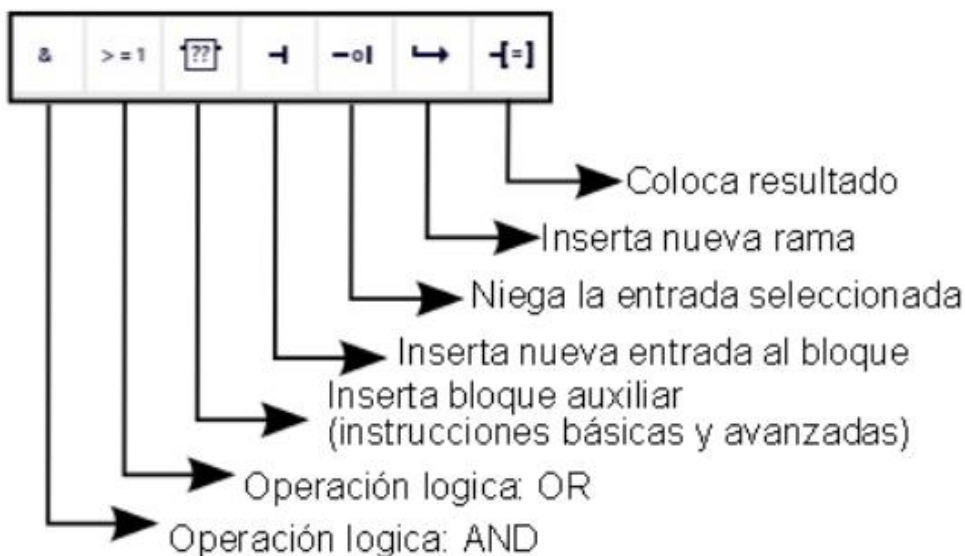


Ilustración 3: principales instrucciones que se pueden encontrar en este lenguaje.

Fuente: (Gútez, 2017)

Diagrama de contactos o escalera:

Este lenguaje implementa la lógica booleana a través de contactos eléctricos en serio o paralelo. Es el lenguaje más utilizado a nivel de programación de PLC's debido a su facilidad de comprensión de parte de las personas familiarizadas con diagramas eléctricos.

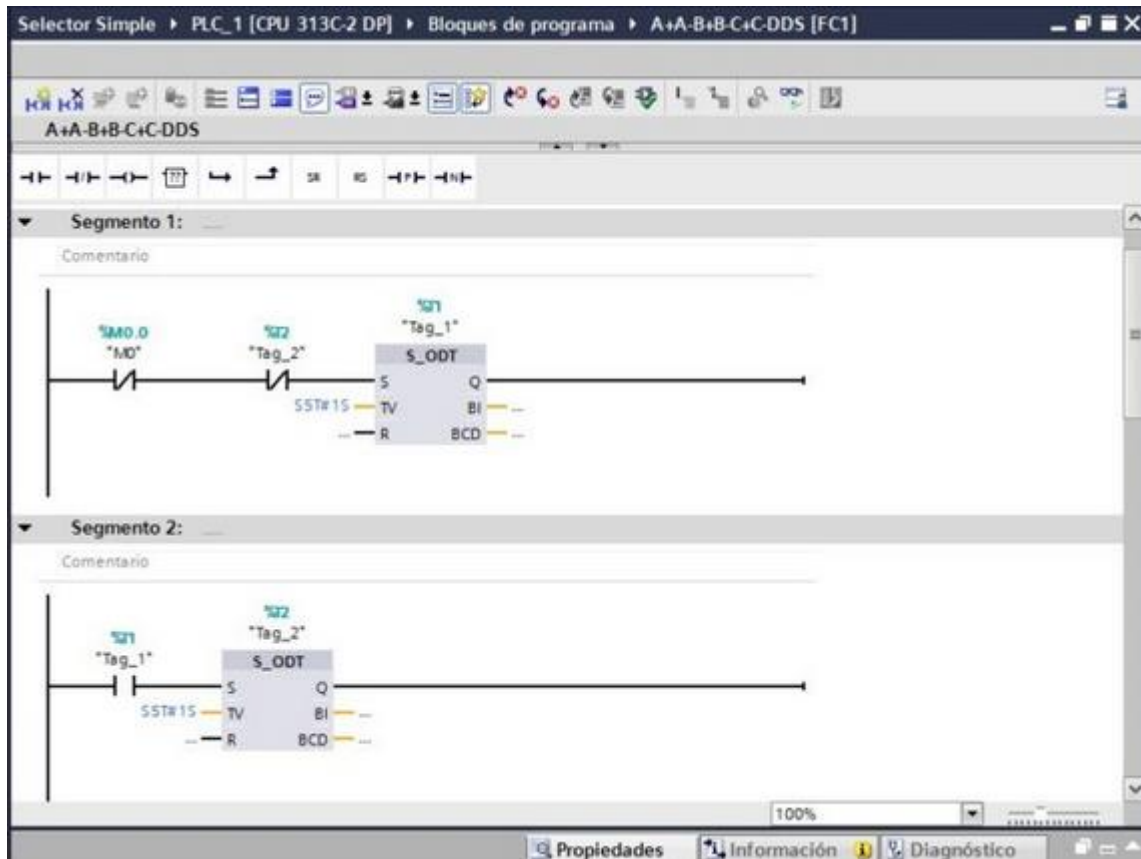


Ilustración 4: Captura de pantalla de software que utiliza el diagrama de escalera.

Fuente: (Gútiez, 2017)

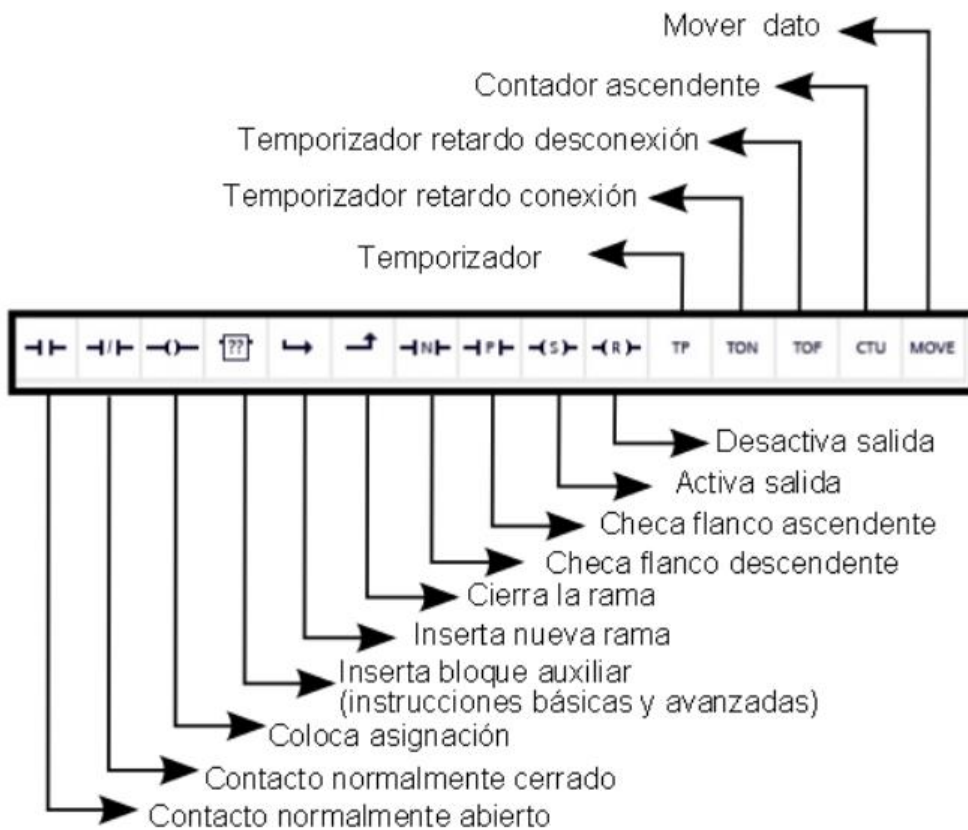


Ilustración 5: principales instrucciones que pueden encontrar al programar con este lenguaje.

Fuente: (Gútez, 2017)

Lista de instrucciones:

Muy similar al utilizado en ensamblador. Se busca dar instrucciones en un nivel muy bajo de programación para reducir el tiempo que toma traducir la información. El inconveniente más grande que posee este lenguaje es el gran tamaño que puede llegar a tener el código. El código puede aumentar entre más complejo sea el proceso.

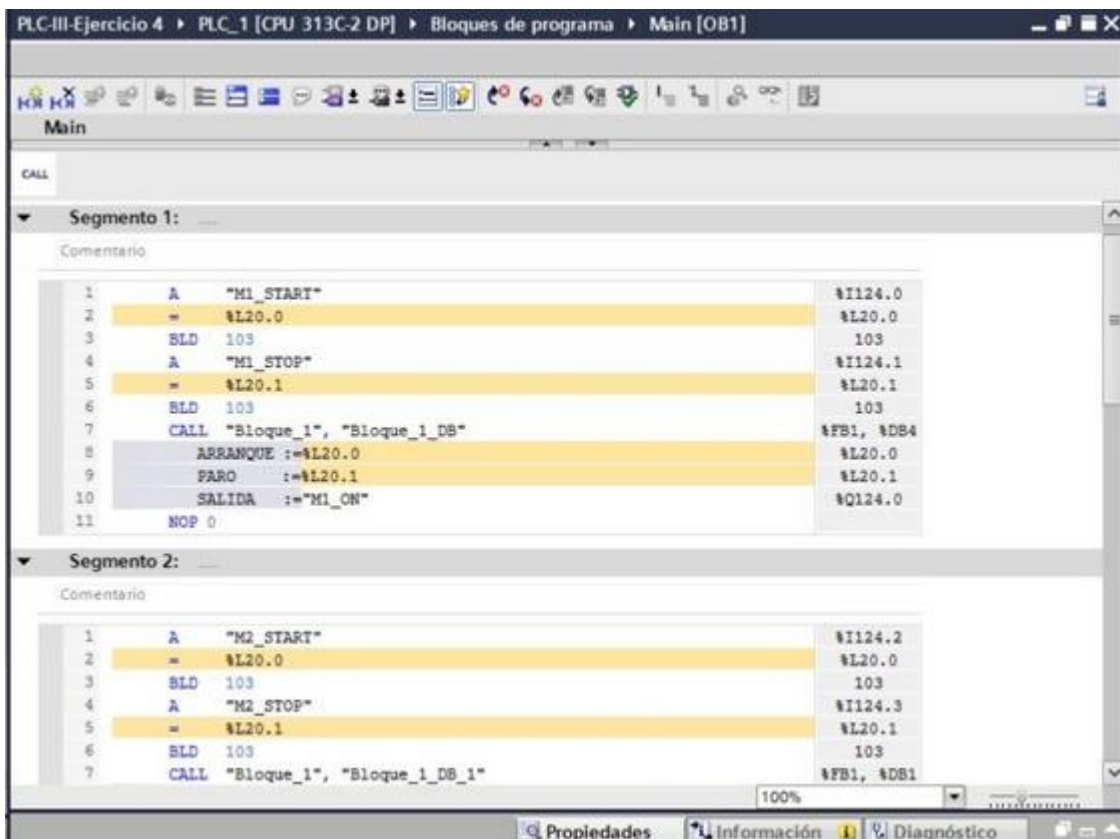


Ilustración 6: captura de software que utiliza lista de instrucciones.

Fuente: (Gútiez, 2017)

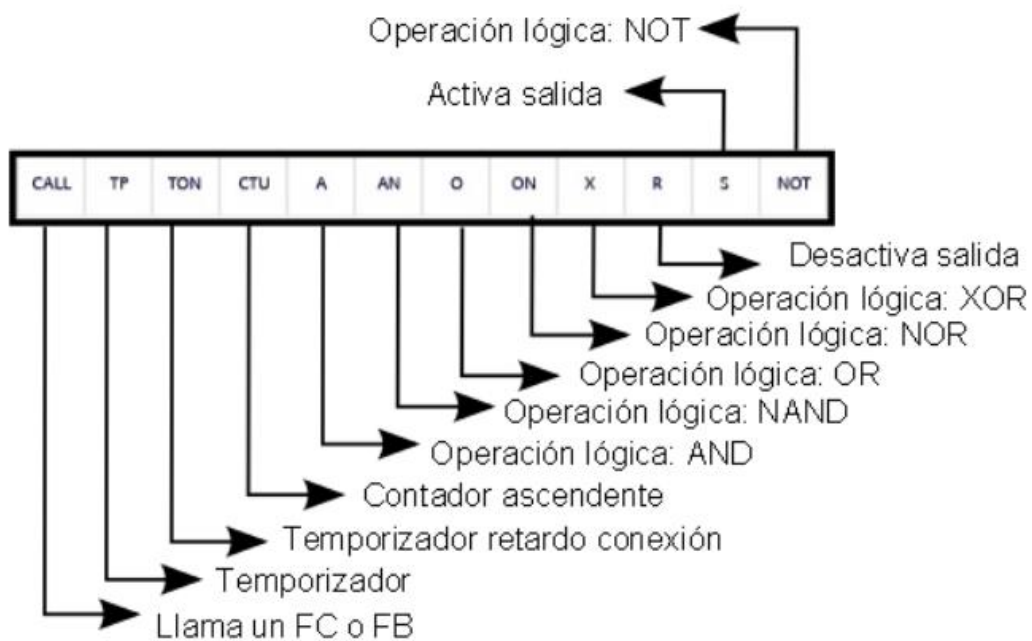
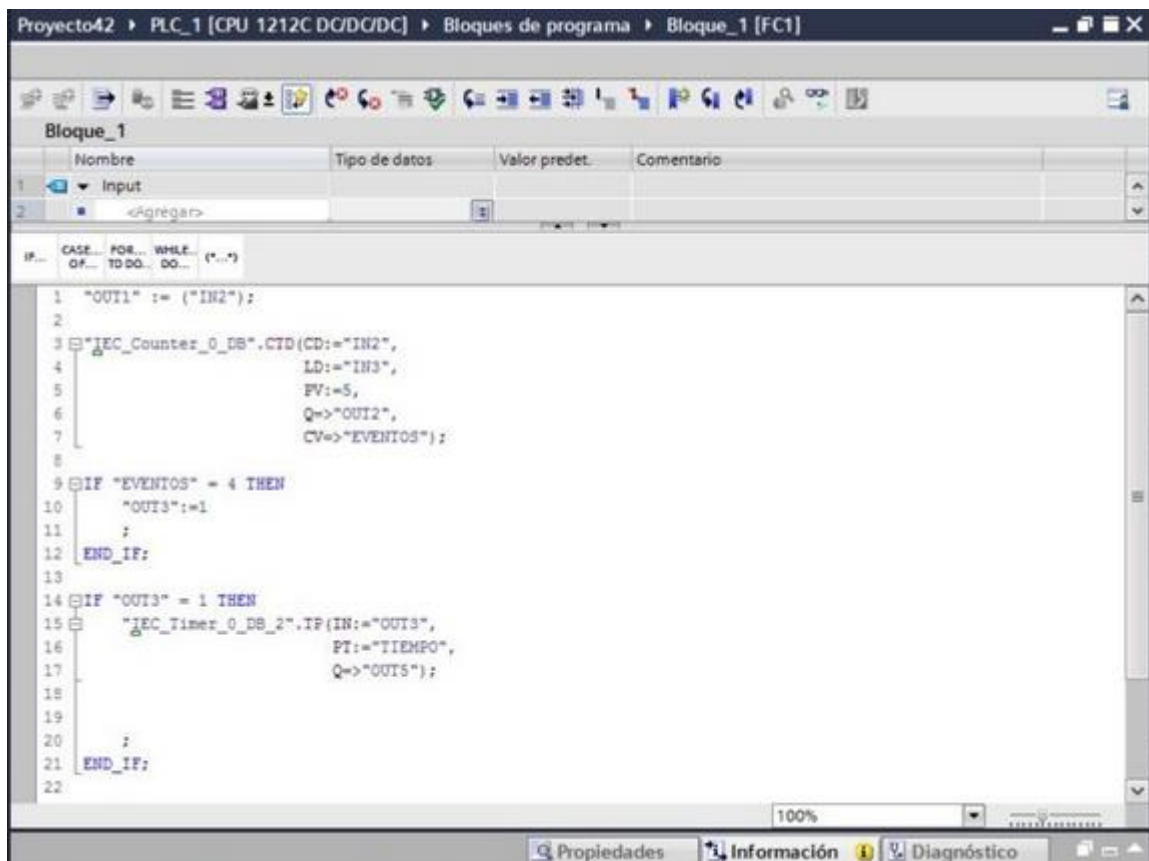


Ilustración 7: principales instrucciones que se pueden encontrar al programar con este lenguaje.

Fuente: (Gútez, 2017)

SCL (Structured Control Language):

Lenguaje proporcionado por Siemens. Se parece mucho a PASCAL, un lenguaje de alto nivel que proporciona sentencias de bucles y condiciones. Es utilizado cuando se tiene que analizar mucha información mediante algoritmos robustos.



The screenshot shows the SIMATIC Manager interface for a PLC project. The main window displays the SCL code for a function block named 'Bloque_1'. The code is as follows:

```
1 "OUT1" := ("IN2");
2
3 "IEC_Counter_0_DB".CTD(CD:="IN2",
4   LD:="IN3",
5   PV:=5,
6   Q=>"OUT2",
7   CV=>"EVENTOS");
8
9 IF "EVENTOS" = 4 THEN
10   "OUT3":=1
11   ;
12 END_IF;
13
14 IF "OUT3" = 1 THEN
15   "IEC_Timer_0_DB_2".TP(IN:="OUT3",
16   PT:="TIEMPO",
17   Q=>"OUT5");
18
19   ;
20
21 END_IF;
22
```

Ilustración 8: captura de software que utiliza SCL

Fuente: (Gútez, 2017)

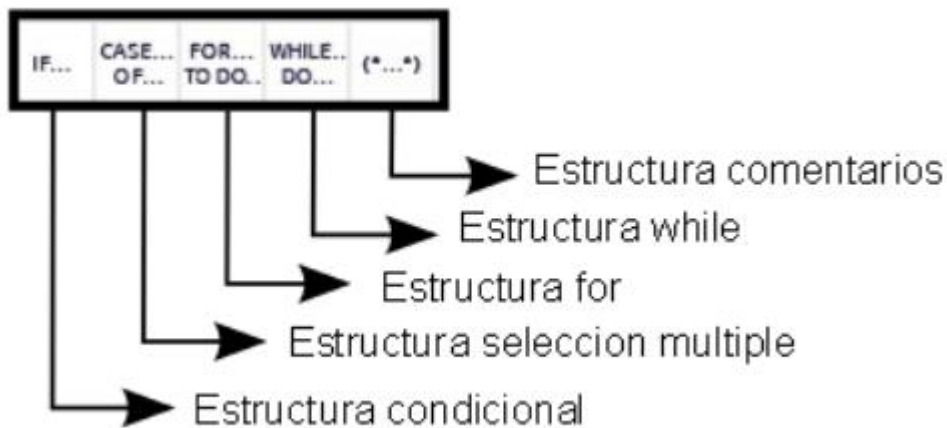


Ilustración 9: principales instrucciones que se pueden encontrar al programar con SCL.

Fuente: (Gútez, 2017)

3.6 CONTROL PID

El control PID es un mecanismo de control que a través de una retroalimentación permite regular distintas variables analógicas tales como temperatura, velocidad, presión, flujo, entre otras.

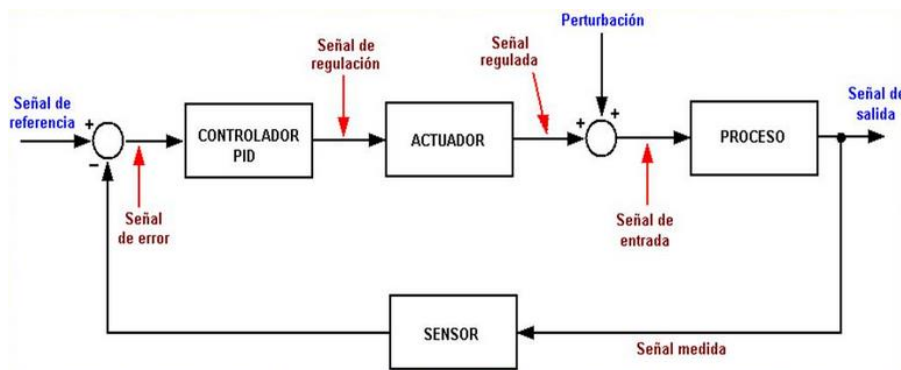


Ilustración 10: diagrama de bloque ejemplificando la retroalimentación del control PID

Fuente: (Mazzone, 2002)

En procesos como éste, nos interesa mantener la presión y flujo constante, por lo tanto, el control PID mide la diferencia entre la presión en la tubería y la presión requerida y, según el valor obtenido, actúa para que podamos tener nuestra presión o flujo constante.

Antes de avanzar es necesario introducir unos conceptos:

- **“set point” o valor consigna:** es el valor deseado al cual se desea llegar.
- **“Actual value” o valor actual:** el valor medido en tiempo real por el sensor.
- **Error:** desviación entre el valor actual y el “set point”

Pero ¿qué es PID? Tiene tres parámetros fundamentales: Ganancia proporcional (P), Integral (I) y Derivativo (D).

El parámetro proporcional (P) mide la diferencia entre el valor actual y un “set-point” (en porcentaje) y aplica un cambio.

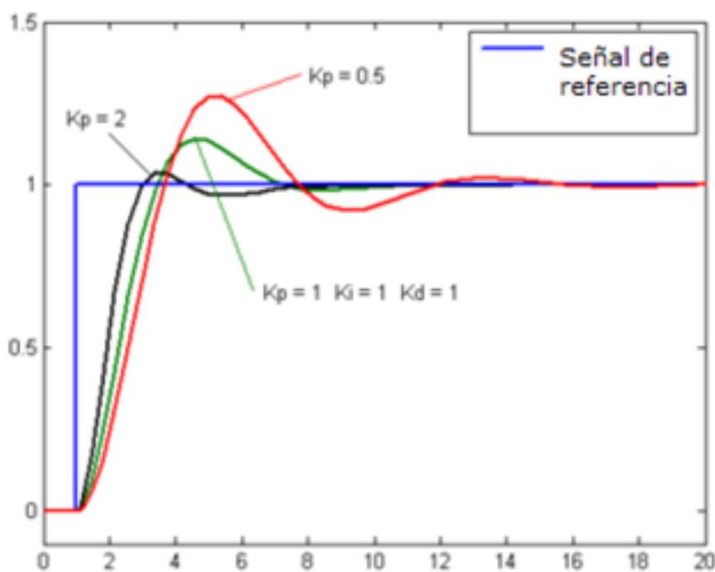


Ilustración 11: gráfico de control proporcional

Fuente: (Rocatek, 2010)

Éste es el producto entre la señal de error y la constante proporcional para lograr que el error en estado estacionario se aproxime a cero, pero en la mayoría de los casos, solo van a ser ideales en un pequeño rango total de control.

En algunos casos, los sistemas alcanzan valores superiores a los deseados, lo que provoca un fenómeno llamado “sobre oscilación”. Hay una relación lineal continua entre el valor de la variable controlada y la posición del elemento final del control.

Una desventaja de la parte proporcional es que no tiene considerada el tiempo. Para solucionar el error permanente y hacer que el sistema contenga algún componente que

considere la variación con respecto al tiempo, se debe incluir las acciones integrales y derivativa.

La acción proporcional puede ser expresada de la siguiente manera:

$$P_{sal} = K_p * e(t)$$

Ecuación 1: Parámetro proporcional

K_p : constante de proporcionalidad. Ganancia del controlador o el porcentaje de banda proporcional.

Ejemplo relacionado con el proyecto: cambia la posición de la válvula proporcionalmente a la desviación de la variable respecto al "set-point". La válvula se desplazará siguiendo los cambios de presión multiplicados por la ganancia.

El error, la banda proporcional y la posición inicial del elemento final de control se expresan en tanto por uno. E indicará la siguiente posición que ocupará el elemento final de control.

El parámetro integral (I) se refiere al tiempo que se toma para llevar a cabo una acción correctiva. Entre menor sea el valor, el ajuste será más rápido. Lo cual puede ser beneficioso, aunque, también puede causar inestabilidades en el sistema, oscilaciones, vibraciones, etc.

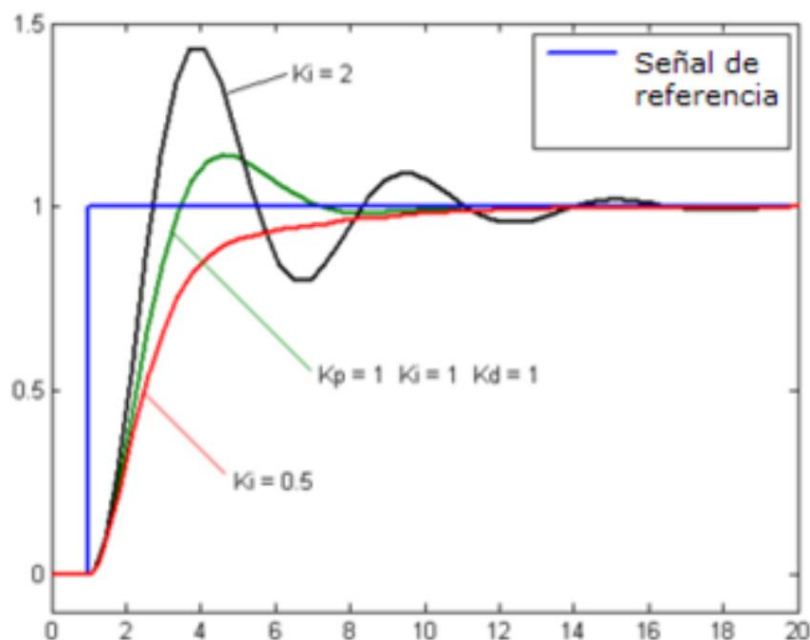


Ilustración 12: grafico de control integral.

Fuente: (Rocatek, 2010)

El propósito del control integral es disminuir y eliminar el error en estado estacionario. Éste es provocado por las perturbaciones externas y no pueden ser corregidas por el control proporcional.

Este actúa como la desviación entre la variable y el "set-point", integrando esta desviación en el tiempo y sumándola a la acción proporcional. El "error" se integra, lo cual sirve como una manera de promediario o sumarlo en un período determinado. Recordando lo que es la integración: la suma de infinitesimal. O bien, la suma de infinitas partes muy pequeñas en un lapso definido.

Luego es multiplicado por una constante **Ki**. La respuesta integral se adiciona al modo proporcional para formar entonces P+I y así obtener una respuesta estable sin error estacionario.

El inconveniente del offset (desviación permanente de la variable con respecto al "set-point") es lo que nos lleva a utilizar el control integral.

$$I_{sal} = K_i \int_0^t e(\tau) d\tau$$

Ecuación 2: Parámetro integral

Ki: constante de integración. Esta variable indica la velocidad con la que se repetirá la acción proporcional.

En el caso del proyecto, se podría poner como ejemplo mover la válvula a una velocidad proporcional a la desviación respecto al "set-point".

El parámetro derivativo (D) permite una acción predictiva. Prevé el error e inicia una acción oportuna. Responde a la velocidad del cambio del error y produce una corrección significativa antes de que el error se vuelva demasiado grande y no pueda corregirse.

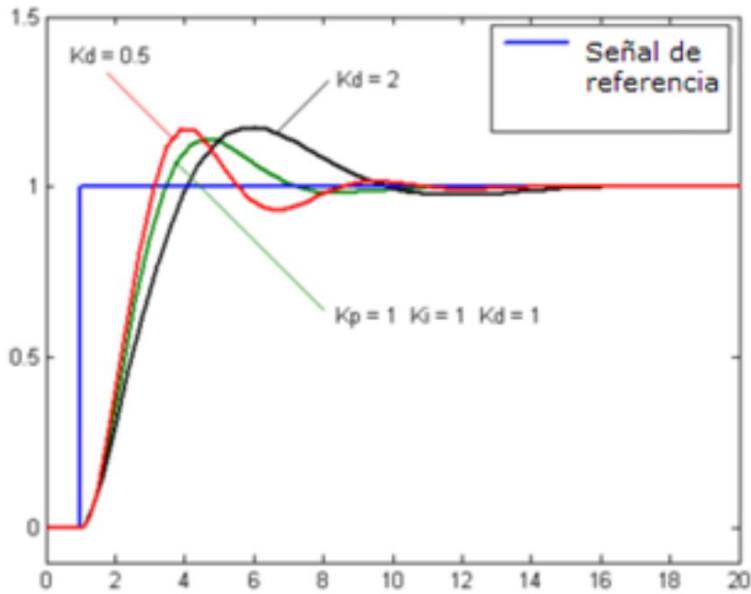


Ilustración 13: gráfico de control derivativo

Fuente: (Rocatek, 2010)

Ésta solo se manifiesta cuando en el valor absoluto del error hay algún cambio.

Su principal función es corregir proporcionalmente el error para mantenerlo en un valor mínimo posible a una velocidad igual a la que se produce. Así se consigue mitigar cualquier posibilidad de incremento. Esta es una manera de adaptar la respuesta de control al sistema, ya que corresponde a un cambio más rápido y el controlador puede responder acordeamente.

En la acción derivativa se debe derivar con respecto al tiempo y multiplicarse por la constante **Kd** para posteriormente sumarse a las señales anteriores P+I.

Se puede expresar de la siguiente manera:

$$D_{sal} = K_d \frac{de}{dt}$$

Ecuación 3: Parámetro derivativo

Kd: Constante de derivación. Se antepone al error duplicando la acción proporcional. Su valor es el lapso durante el cual se manifestará la acción proporcional correspondiente a 2 veces el error y después desaparecerá.

Ejemplo relacionado con el proyecto: se mueve la válvula a una velocidad proporcional a la desviación respecto al "set point". La señal I va sumando las áreas diferentes entre la variable y el "set point" repitiendo así la señal proporcional según el tiempo de acción derivada.

La acción derivativa es adecuada cuando hay retraso entre el movimiento de la válvula de control y su repercusión a la variable controlada.

Tiene algunos inconvenientes por los cuales no es tan utilizado. Su sensibilidad al ruido debido a cuando el tiempo de acción derivada se hace muy grande, hay inestabilidad en el proceso y cuando es muy pequeño, la variable oscila demasiado con relación al "set point". Por eso, el tiempo óptimo de acción derivativa es el que retorna el "set point" con un número de oscilaciones mínimas.

Pero a pesar de ello, ayuda a disminuir el rebasamiento de la variable durante el arranque del proceso. Porque permite una repercusión veloz de la variable después de presentarse alguna perturbación en el proceso.

Acción de control proporcional integral PI:

Es necesario que exista error para tener una acción de control distinta de cero. Con acción integral, un error pequeño positivo siempre nos dará una acción de control creciente, y si fuera negativa la señal de control será decreciente. Este razonamiento sencillo nos muestra que el error en régimen permanente será siempre cero.

Muchos controladores industriales tienen solamente acción PI. Estos son adecuados para todos los procesos donde la dinámica es esencialmente de primer orden. Lo que puede demostrarse en forma sencilla, por ejemplo, mediante un ensayo al escalón.

Acción PD:

Tiene la desventaja importante que amplifica las señales de ruido y puede provocar saturación en el actuador. La acción de control derivativa nunca se utiliza por sí sola, debido a que sólo es eficaz durante períodos transitorios.

Cuando una acción de control derivativa se agrega a un controlador proporcional, permite obtener un controlador de alta sensibilidad, es decir que responde a la velocidad del cambio del error y produce una corrección significativa antes de que la magnitud del error se vuelva

demasiado grande. Aunque el control derivativo no afecta en forma directa al error de estado estacionario, añade amortiguamiento al sistema y, por tanto, permite un valor más grande que la ganancia, lo que provoca una mejora en la precisión en estado estable.

Acción PID:

Esta acción reúne las ventajas de cada una de las tres acciones de control individuales.

La salida o "output" de estos tres términos se suman para calcular la salida del controlador PID. Definiendo $u(t)$ como la salida del controlador, la forma final de representar el controlador PID sería la siguiente:

$$y(t) = MV(t) = K_p * e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + D_{sal} = K_d \frac{de}{dt}$$

Ecuación 4: Parámetro PID

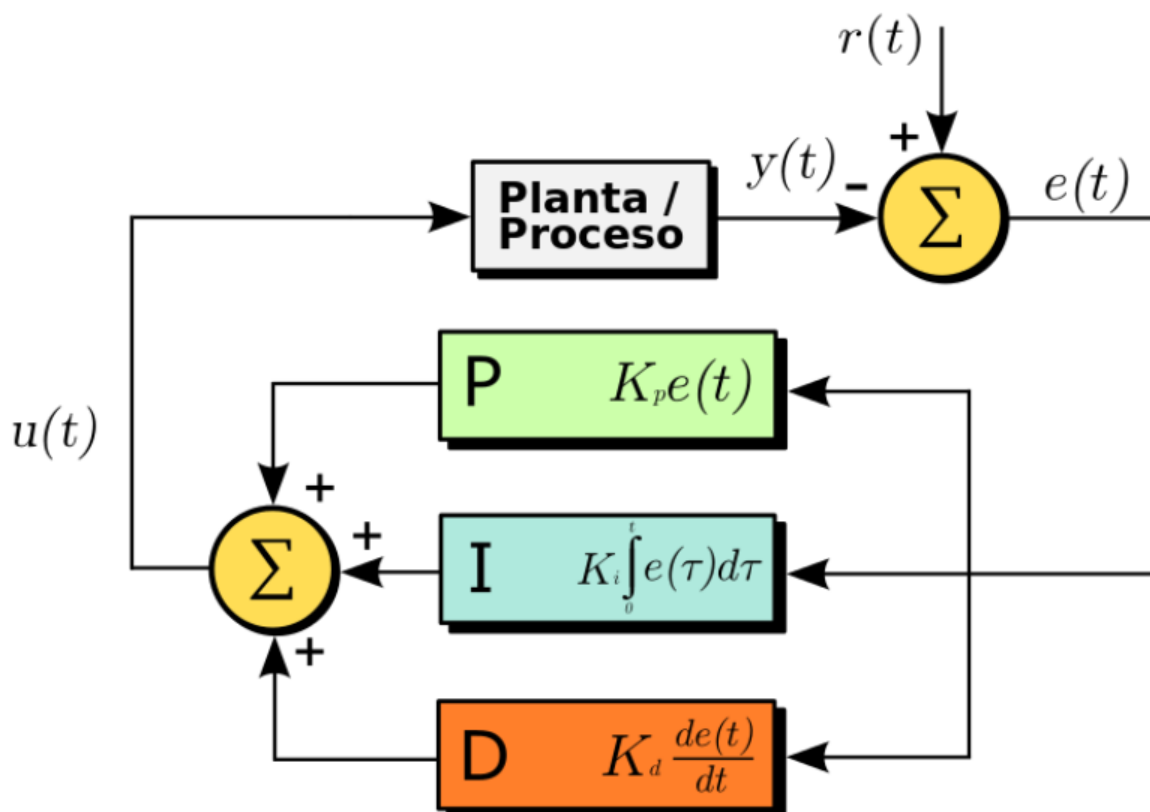


Ilustración 14: diagrama de controlador PID

Fuente: (PID updated feedback, 2010)

3.6.1 CONTROL PID

Para conseguir un funcionamiento correcto de un controlador PID se necesita, al menos:

- Un sensor, que nos dé una retroalimentación del sistema (manómetro, caudalímetro, termómetro)
- Un controlador, que genere la señal que gobierne al actuador.
- Un actuador, que modifique el sistema de manera controlada (motor, válvula, bomba, etc.)

Todo el proceso inicia con el sensor. Éste brinda una señal analógica o digital y la envía al controlador. Este puede llamarse el "punto actual" o "actual value" del proceso. Estas señales suelen representarse por tensión eléctrica, frecuencia o intensidad de corriente. En este proyecto en particular se utiliza corriente. Se utiliza un rango de 3 miliamperios hasta 15 miliamperios. Se utiliza la corriente ya que esta no posee pérdidas significativas a largo del cableado. Y no se utiliza un valor "0" por seguridad. Ya que, al tener un valor de 0, no podría saberse si se debe a que el cableado está en mal estado o es que sencillamente no hay señal. Y se le asigna un valor acorde con la presión. De 3 psi a 15 psi. Así, con saber los miliamperios que envía, se puede saber el valor en psi que maneja la válvula.

EL controlador resta la señal del punto actual a la señal del "set-point" obteniendo así la señal de error. Esta señal de error es la que determina en cada instante la diferencia que existe entre el valor deseado (set-point) y el valor medido (actual value). La señal de error es utilizada por los tres componentes del controlador PID. Para obtener la "señal de salida" o "output" se deben sumar estas tres señales. Esta señal de salida es la que el controlador utilizará para gobernar el actuador.

IV. METODOLOGÍA

De acuerdo con (<http://conceptodefinicion.de/metodologia/>) El término metodología se define como el grupo de mecanismos o procedimientos racionales, empleados para el logro de un objetivo, o serie de objetivos que dirige una investigación científica. Este término se encuentra vinculado directamente con la ciencia.

4.1 HIPOTESIS

Una hipótesis bien planteada podrá ser comprobada mediante el método empleado.

Una hipótesis es una suposición hecha a partir de unos datos que sirve de base para iniciar una investigación.

El proyecto, consiste en disminuir los minutos de paro en el área de llenado de la línea 3, básicamente mediante 2 mejoras:

La implementación de una opción dentro de la pantalla de control que permita regular el porcentaje de apertura y cierre de las válvulas de CO₂.

Y una corrección en el control PID del controlador, para el control de entrada y salida de CO₂ dentro del tazón y así controlar la presión del tazón para mantenerlo lo más estable posible.

Teniendo la facilidad de probar las válvulas de una manera remota y de fácil acceso, junto con una mejora en la regulación de la presión en el tazón. Se tiene la hipótesis que se identificarán con mayor facilidad los problemas en la llenadora, ya que los problemas con la presión y/o las válvulas eran los más frecuentes. Ya que, el técnico sabrá si el problema es físico de la válvula al no abrir o cerrar de manera correcta, o si es un problema con la presión directamente. Ya que si ésta abre o cierra y no se aprecia un cambio en la presión significativo, significa que hay problemas con el CO₂. Con esto y sumándole un mejor control en la presión. Se espera una reducción en minutos de paro y en cantidad de botellas rechazadas, ya que la principal causa de botellas rechazadas era un mal control en la presión del tazón.

4.2 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

Son factores que pueden ser manipulados y medidos dentro de un proceso de investigación. Estas variables pueden cambiar durante la investigación.

Las variables representan un concepto vital dentro de un proyecto de investigación.

4.2.1 VARIABLES INDEPENDIENTES

Estas variables no dependen de otras. Se conceptualiza como la causa o el fenómeno al cual se debe investigar y se identifica como el antecedente o la causa. Esta es la variable que puede ser manipulada por el investigador.

- Presión de aire en las válvulas
- Cantidad de válvulas de CO2 en llenadora

4.2.2 VARIABLES INDEPENDIENTES

- Nivel de apertura de válvulas de presión
- Cantidad de botellas llenadas correctamente
- Tiempo de paro

4.3 ENFOQUE Y MÉTODOS

Antes de poder dar el siguiente paso en la investigación, hay que tener clara la metodología a seguir y el enfoque que se le dará.

Dentro de la metodología, haremos uso de una técnica definida. Esto es básicamente el procedimiento que se utilizará. Otro componente muy importante es el enfoque que se le desea dar al proyecto. Se pueden tener enfoques cualitativos y cuantitativos.

Un enfoque cuantitativo está volcado a la recolección de datos, para determinar una hipótesis y establecer patrones, utilizando análisis estadísticos y mediciones.

Mientras que el enfoque cualitativo se basa en la descripción de las cualidades de un fenómeno o evento.

4.3.1 ENFOQUE CUANTITATIVO

La cantidad de paros de producción en el sector de las llenadoras era muy alta y se debía a que no se tenía un control preciso del error de las válvulas de CO2 así como un mal control de la presión.

Los niveles de Apertura de nuestras válvulas eran demasiado altos y no cerraban cuando era necesario, por lo que las presiones no se regulaban en el tiempo adecuado. El tener un nivel de presión elevado provoca que el tazón del producto no se pueda llenar por determinado tiempo. Y posteriormente puede provocar efectos de sobrellenado o botellas agitadas, lo que hará que aumente el número de botellas rechazadas.

Se utilizó la recolección y análisis de datos para corroborar si la implementación del proyecto fue positiva o no. El monitoreo de datos como la cantidad de botellas rechazadas y tiempos de paro en llenadora son recopilados por supervisores de línea y se presentan en un informe.

4.3.2 ENFOQUE CUALITATIVO

Aquí nos enfocamos en la facilidad que tengan los operarios por identificar de manera más eficiente los problemas de la llenadora y su respectiva reparación.

Conocer la línea de llenado fue una parte importante en desarrollo del proyecto. Comprender su proceso y todos los componentes que intervienen dentro de este proceso. Conocer la opinión de los operarios era una parte muy importante antes de realizar este proyecto, ya que ellos son los que interactúan con ella y conocen. Con esta información podíamos conocer cuantitativamente la cantidad de paros que se dan y las razones más comunes de estos paros. Además de concluir con la retroalimentación dada por los técnicos e ingenieros, que era más urgente. En especial tener un mejor control de las válvulas. Para conseguir esto, se le hicieron constantes entrevistas a los diferentes técnicos, operarios e ingenieros que trabajan e interactúan con la llenadora. Para así corroborar que la implementación les facilitara su trabajo.

4.4 POBLACIÓN Y MUESTRA

Debido a que últimamente los minutos de paro han ido aumentando nos interesa recolectar este dato. Reducir esos tiempos de paro será posible centrándonos en las válvulas de CO₂, ya que de ellas dependen el mayor número de fallos posibles. Facilitando la detección de alguna falla mecánica o de presión directamente desde la pantalla de control; así como controlando la presión.

Por ende, tendríamos dos datos a los cuales tener especial enfoque.

Población 1: minutos de paro en llenadora 3.

Muestra 1: minutos de paro llenadora 3 relacionados con presión de abril 1 a junio 28.

Población 2: botellas rechazadas.

Muestra 2: botellas rechazadas en llenadora 3 de abril 1 a junio 28.

4.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS

Adquirir la información necesaria para llevar a cabo el proyecto fue una tarea que fue posible mediante distintos tipos de técnicas. El aplicar correctamente estas técnicas, facilitó el desarrollo del proyecto, ya que permitió adquirir un conocimiento global de las distintas áreas que influyen sobre el mismo.

La técnica que se utilizó en el desarrollo de este proyecto fue la siguiente:

La entrevista:

El preguntar constantemente desde el día uno sobre todos los aspectos del proyecto, permitió comprender con mayor facilidad el proceso. Se utilizó cada vez que se bajaba a planta con los operarios, técnicos e ingenieros que laboran en el área de las llenadoras. Fue necesario hacerles preguntas minuciosas sobre el funcionamiento, problemas frecuentes, cambios que ellos quisieran que tuvieran las líneas de llenado. Fue determinante en la etapa de planeación ya que se trabajó para solucionar los principales problemas que detectaron los técnicos.

Observación:

La principal técnica utilizada en este proyecto. Esta técnica nos permitió la recolección de datos. Debido a la naturaleza del proyecto, ésta técnica fue la más adecuada para analizar la gravedad del problema y posteriormente verificar las mejoras con estos datos obtenidos.

4.6 FUENTES DE INFORMACIÓN

Las fuentes de información son los diversos tipos de documentos que nos brindan datos útiles para cumplir con nuestra necesidad de información. Es importante lograr distinguir y saber seleccionar las fuentes adecuadas, para asegurar que la información sea precisa. Además de tener una variedad de recursos para elaborar un mejor proyecto.

Fuentes utilizadas:

- Manuales del equipo brindados por KRONES
- Libros sobre diseño de llenadoras
- Información brindada por ingenieros y operarios de la planta
- Información brindada por técnicos especializados de KRONES

4.7 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Actividad	Semana									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inducción a la planta	■									
Estudio de líneas de producción	■	■								
Encuesta verbal con técnicos		■	■							
Implementación de nueva programación			■							
Cambio de válvulas de presión			■							
Retroalimentación de técnicos			■	■						
Toma de datos				■	■	■	■	■	■	■
Corrección de errores de programación						■	■			
Retroalimentación de técnicos por 2da ocasión								■		

V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los datos que tomar en cuenta en este proyecto son los que dependían directamente de la mejora en el sistema de control de las válvulas de la llenadora de la línea 80 (3). Tal como la reducción de tiempo de paro lo que va de la mano con reducción de pérdida monetaria, disminución de botellas rechazadas e incremento de eficiencia al momento del arranque de producción.

5.1 ANÁLISIS

Previo a la instalación del proyecto en la línea 80 (3), la llenadora presentaba numerosos problemas.

Debido a la naturaleza del proyecto, la toma de datos es vital para verificar si se instaló de manera correcta y si de verdad tuvo un impacto positivo dentro de la línea de producción.

Es importante aclarar que dentro de una línea de producción hay varios puntos críticos. Por lo cual, hay muchas razones por las que puede existir un paro de producción. Pero en este informe sólo se tomarán en cuenta las que estén directamente relacionadas con el área de llenado. Dejando por fuera datos de paro del área de etiquetadora, soplado, transporte entre cada área y empaquetado.

Los datos del proyecto son tomados en 3 "fases" antes del proyecto (abril 1 – mayo 11), fase 1 (mayo 12 – junio 1) y fase 2 (junio 2 – junio 28).

5.1.1 DATOS QUE TOMAR EN CUENTA DE PRODUCCIÓN

Hay datos que permitirán analizar posteriormente cualquier tipo de mejora posterior a la implementación del proyecto.

Debido a que la planta cuenta con información confidencial, estos valores se aproximarán.

Valor aproximado de producción por botella plástica según tamaño:

- Envase 354 mililitros: 9 lempiras
- Envase 500 mililitros: 10 lempiras
- Envase 1.1 litros 11 lempiras

Velocidad nominal aproximada de producción:

- Envase 354 mililitros: 24 mil botellas/h
- Envase 500 mililitros: 18 mil botellas/h
- Envase 1.1 litros 13 mil botellas/h

Presión aproximada en tazón:

- 4.7 bar

Tiempos de paro necesarios:

- Cambio de sabor: 45 minutos (3 veces al día) total= 135 minutos al día.

Otros paros en la línea de producción además de la línea de llenado:

- Transporte aéreo
- Etiquetadora
- Soplado
- Problemas de calidad de jarabe

Debido a que tomar precisamente el tiempo de paro total en la línea dependiendo los diferentes factores anteriormente mencionados. Se hará una evaluación contando solamente de la reducción de tiempo de paro en el área de la llenadora.

5.1.2 TOMA DE DATOS PREVIO A LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

Antes de implementar el proyecto, se visitó la llenadora 80 (3). Y se realizó varias entrevistas a los operadores. También se observó los distintos tipos de paro que se daban.

Entre lo más importante es tomar en cuenta el tiempo de paro y sus principales razones. Las cuales se dividen en dos tipos: las que tomaremos en cuenta por estar relacionada con las válvulas (las que están ligadas con el proyecto) y otro tipo de fallas (como mecánicas, caída de botellas, paro planificado, etc.

Dentro de la empresa existen 3 tipos de turnos. De 6:00 am – 14:00 pm (Turno A); de 14:00 pm – 22:00 pm (Turno B) y de 22:00 pm – 6:00 am.

En la toma de datos no se tomó en cuenta en que turno se haya dado el paro. Ya que ese dato no es relevante dentro del proyecto. Se tomó la suma de todos los tiempos de paro del día y se dividió en si es tipo de paro a tomar en cuenta u otro tipo de paro.

Se solicitó los documentos del área de mantenimiento donde se identifica el tiempo de paro y su razón. Con esto se logró identificar las diferentes causas y sus respectivos tiempos desde el mes de abril de 2018.

Tabla 1: tipos de fallo identificados dentro de la sección de la llenadora. Izq.: paros a tomar relacionados con el proyecto. Der. otro tipo de paro.

Razones de minutos de paro relacionadas con el proyecto	Razones de otro tipo de paro en llenadora
baja velocidad de llenadora	cambio de pinzas
cambio de válvula	ajuste mecánico de arranque
arranque	diseño de envase
botellas agitadas	cambio de caña
análisis CO2	avería mecánica
Averías de válvula	perdida de sincronización
sobrelleno	rechazador de botella
ajuste llenador	entrada de envase
tazón no regulaba presión	

La razón más frecuente son las **botellas agitadas**. Lo cual viene del problema principal: problemas de presión debido a las válvulas (lo cual se buscó solucionar con el proyecto). Esto deriva en distintos problemas como lo puede ser: sobrellenado, reducción de velocidad de producción, botellas caídas y pérdida de calidad, por lo que se verá rechazada la botella.

Posterior a conocer y separar las causas de los paros en la línea 80 (3). Se tomaron en medidas del tiempo de ambas y se distribuyó en que porcentaje afectaban en el paro.

Para la separación de los minutos de paro dentro de la llenadora se tomó en cuenta lo anterior y se dividieron de la siguiente manera:

- Minutos de paro por presión
- Minutos de otro tipo de paro

Tabla 2: División del tiempo de paro total entre paros por presión y otros tipos de paro – abril.

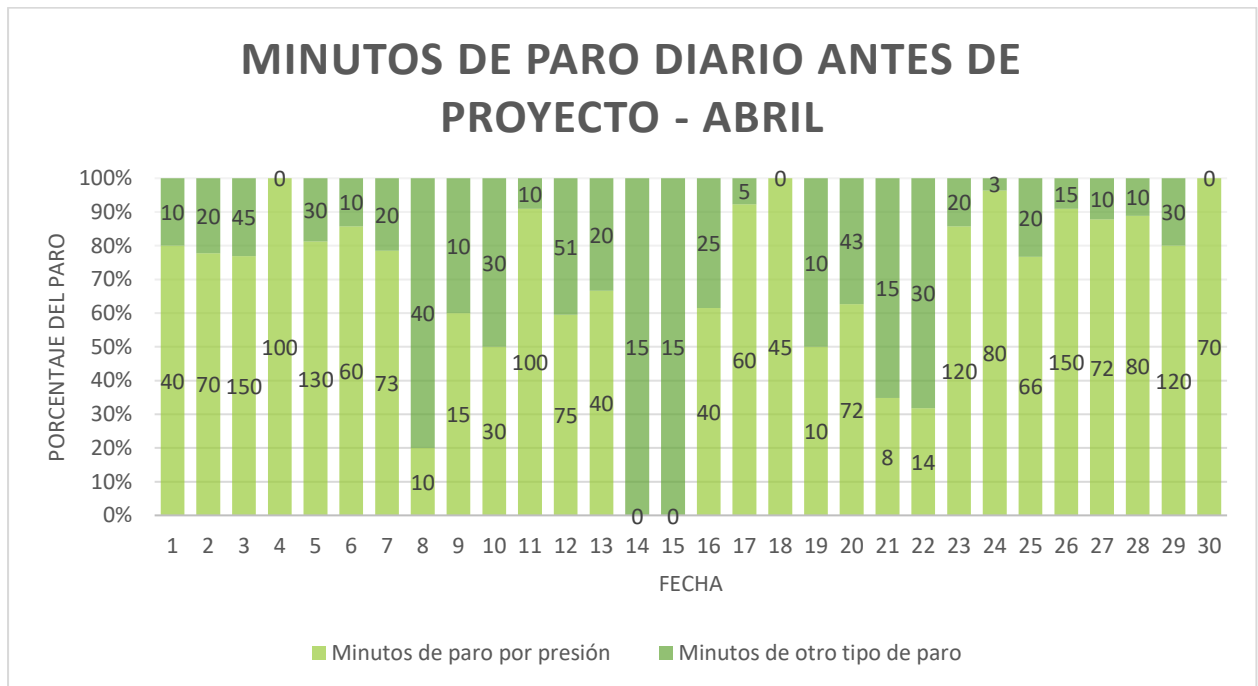
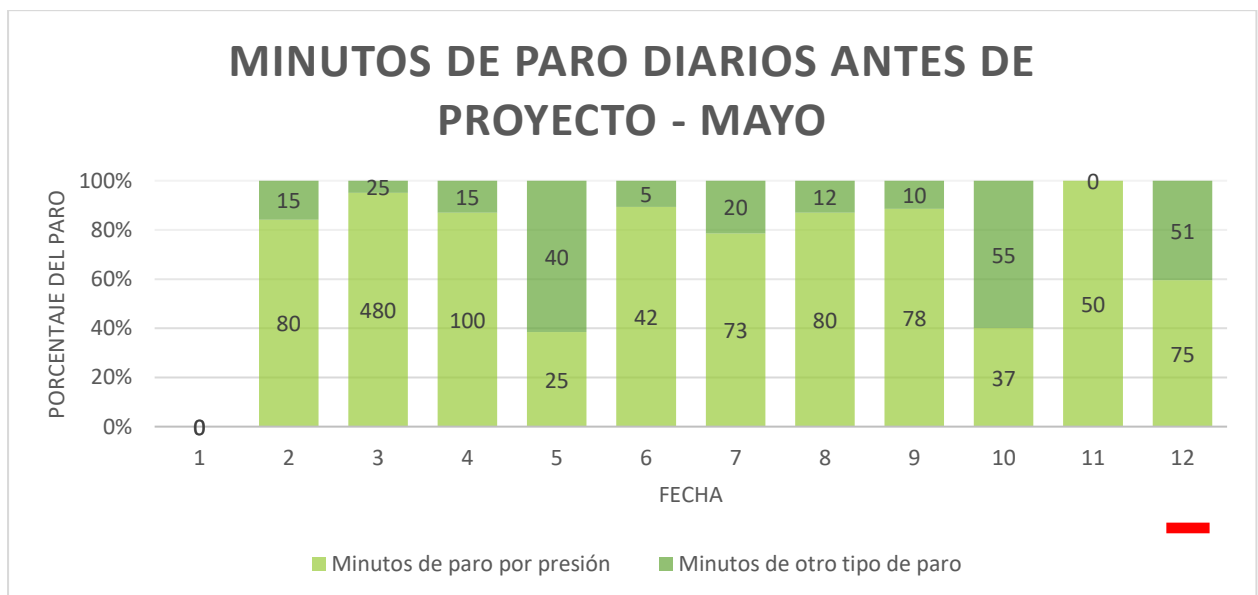


Tabla 3: División del tiempo de paro total entre paros debido a presión y otros tipos de paro - Mayo (antes de implementación de proyecto). 12 de mayo: día de implementación de proyecto.



Según los datos tomados, se puede verificar que la gran cantidad de tiempo de paro están relacionados con las válvulas en la llenadora.

5.1.3 RESULTADOS

5.1.4 TOMA DE DATOS POSTERIOR A LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto se implementó el día 12 de mayo y tuvo una segunda implementación el día 2 de junio, posterior a una retroalimentación de la primera implementación. Retocando ciertos puntos de la programación para corregir ciertos errores en el error de salida entre la válvula de entrada de CO2 y la de llenado de botellas, para hacer más eficiente el proceso.

Los tiempos de paro fueron tomados de la misma manera que en la parte previa a la implementación.

Tabla 4: minutos de paro después de implementación de proyecto.

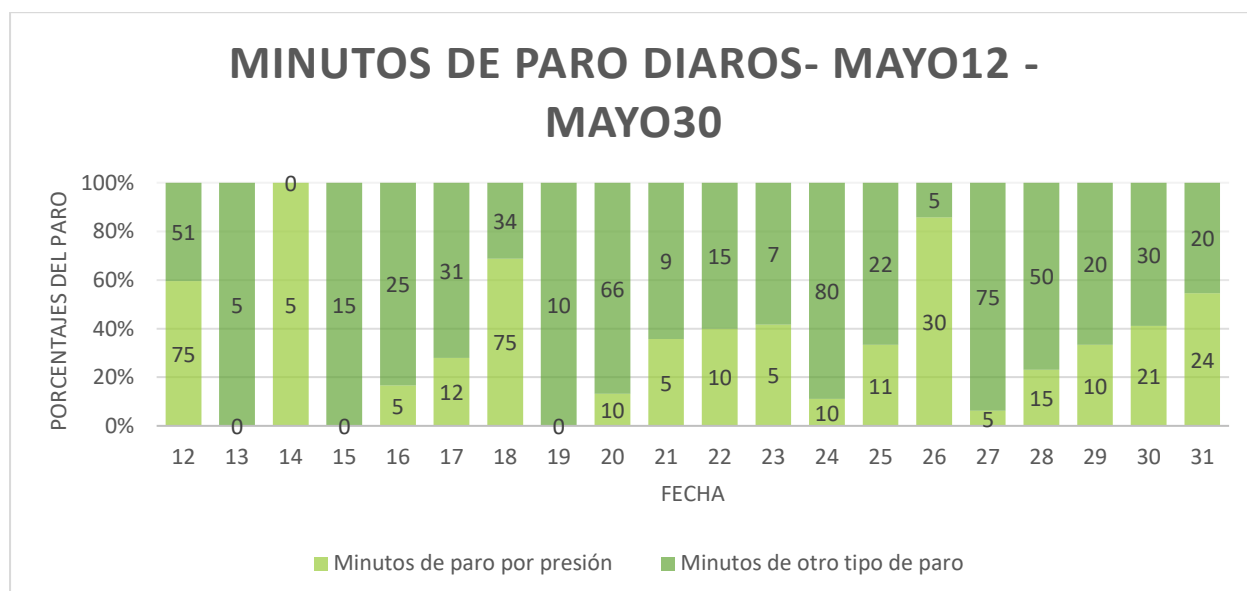
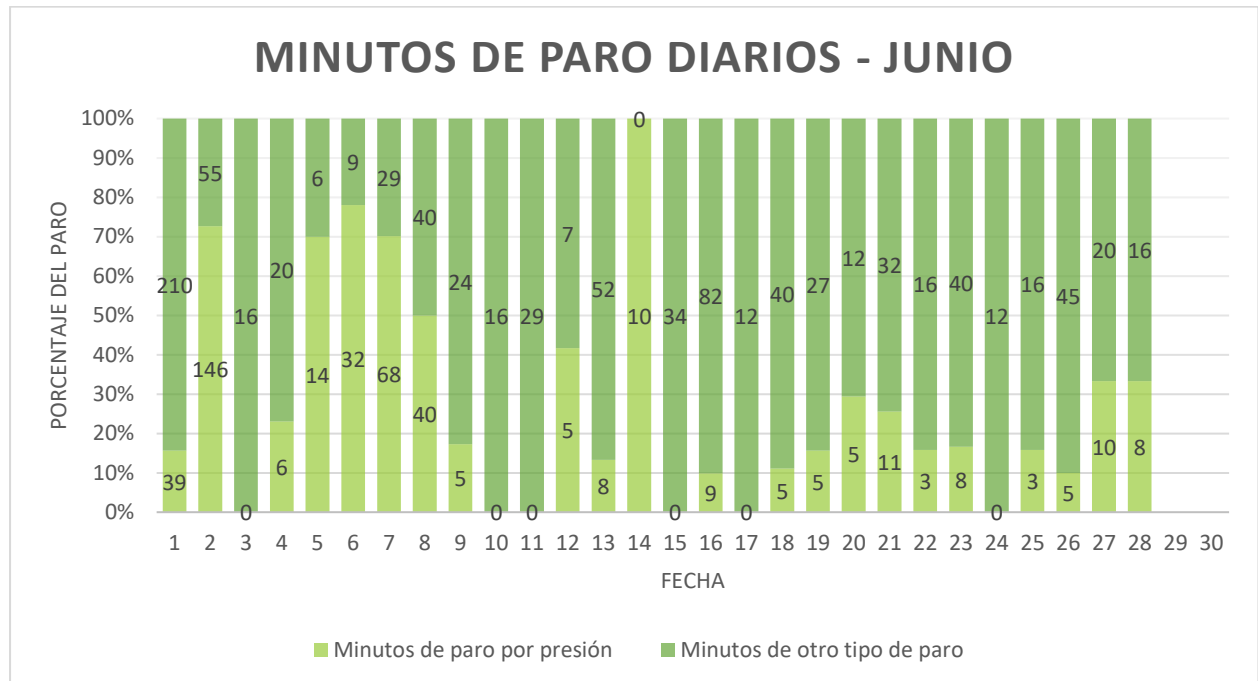


Tabla 5: minutos de paro en junio. 2 de junio se implementan correcciones al proyecto posterior a una retroalimentación con operarios e ingenieros.



Como se puede apreciar. Luego de la corrección hecha el 2 de junio, los tiempos de paro relevantes disminuyeron drásticamente. Llegando a tener 0 minutos de paro por causas relevantes al proyecto.

Esto se logró corrigiendo la velocidad de corrección de error de las válvulas 202 y 201. Que son las encargadas de ingresar y liberar el CO2 al tazón.

Se logró reducir la principal causa de paro, que era la sobrepresión que provocaba botellas agitadas. Lo que desembocaba en reducción de velocidad de producción, rechazo de botellas, que las botellas se cayeran por la misma agitación.

5.2 RECHAZO DE BOTELLAS

El rechazo de botellas es una parte crítica dentro de la producción. Ya que una botella rechazada no puede ser ingresada, en ninguna circunstancia, a la línea de producción otra vez. Lo que significa pérdidas monetarias.

Debido a razones de confidencialidad, no se puede publicar el valor real de producción de cada envase. Pero se procederá a trabajar con supuestos, asignando un valor x al valor y multiplicándolo por la cantidad de botellas rechazadas, para lograr tener un valor estimado de lo que se puede estar ahorrando.

En las siguientes tablas, se muestra la cantidad de envases rechazados en la línea llenadora 80 (3) por día en los meses de abril, mayo y junio.

Tabla 6: total de botellas rechazadas en abril.

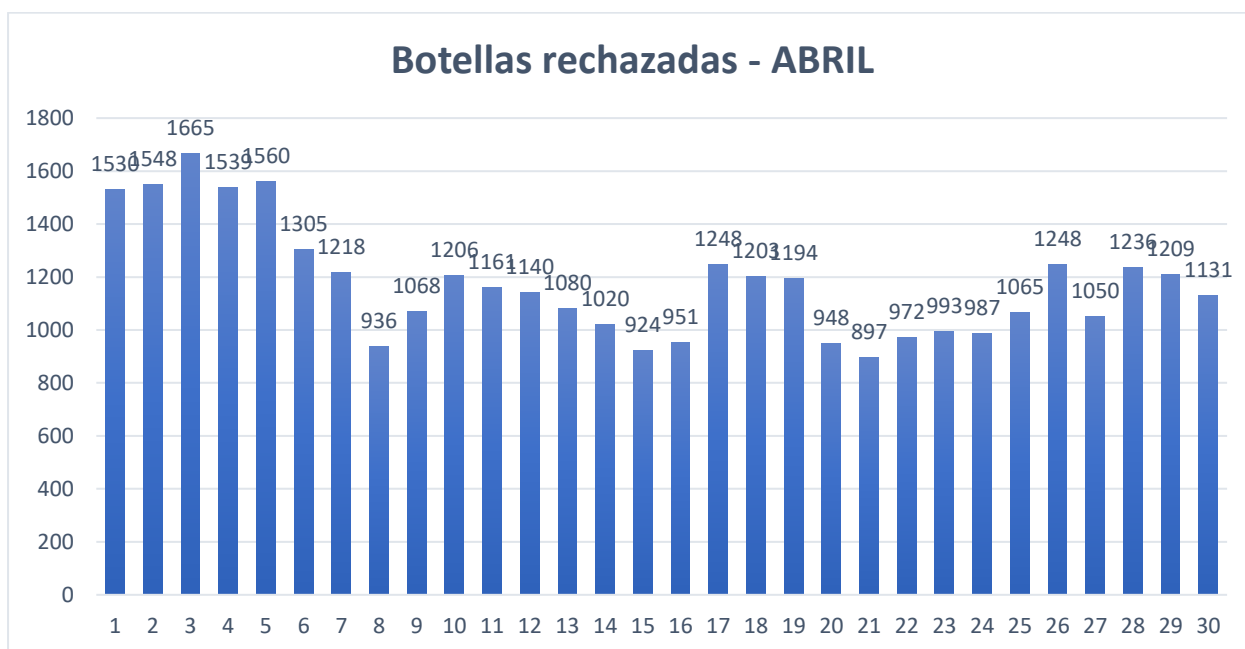


Tabla 7: total de botellas rechazadas en mayo

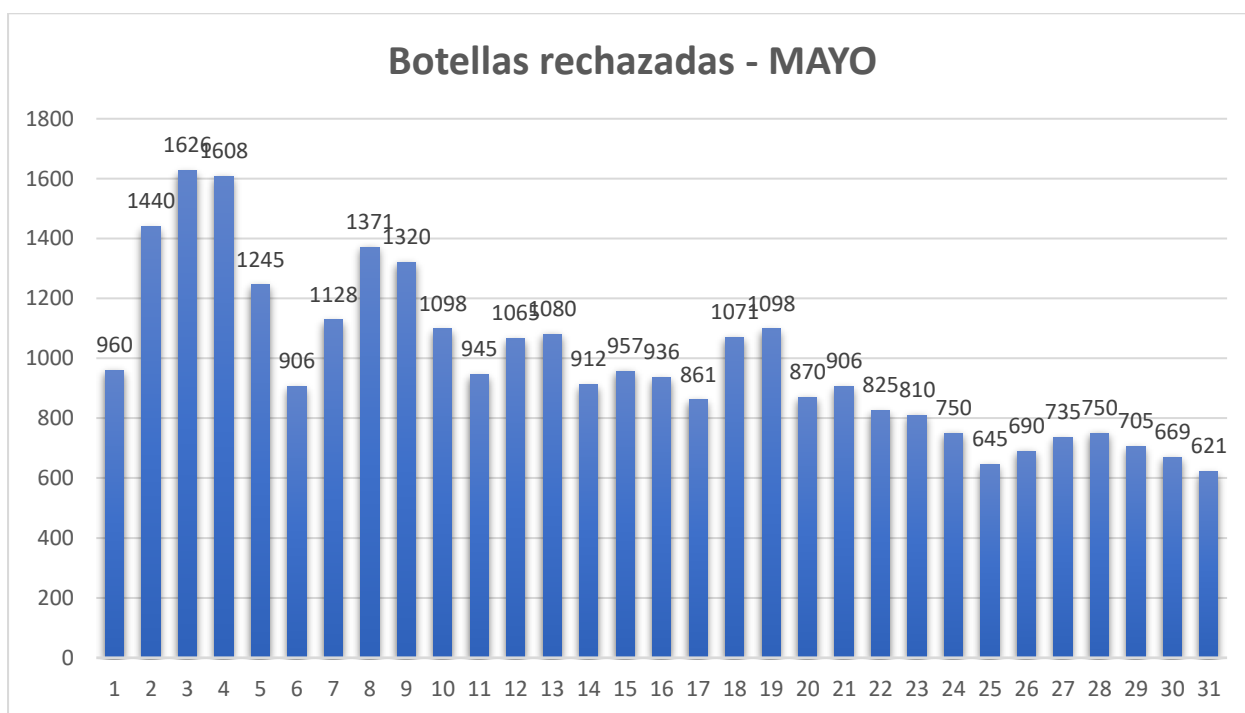


Tabla 8: total de botellas rechazadas en junio.

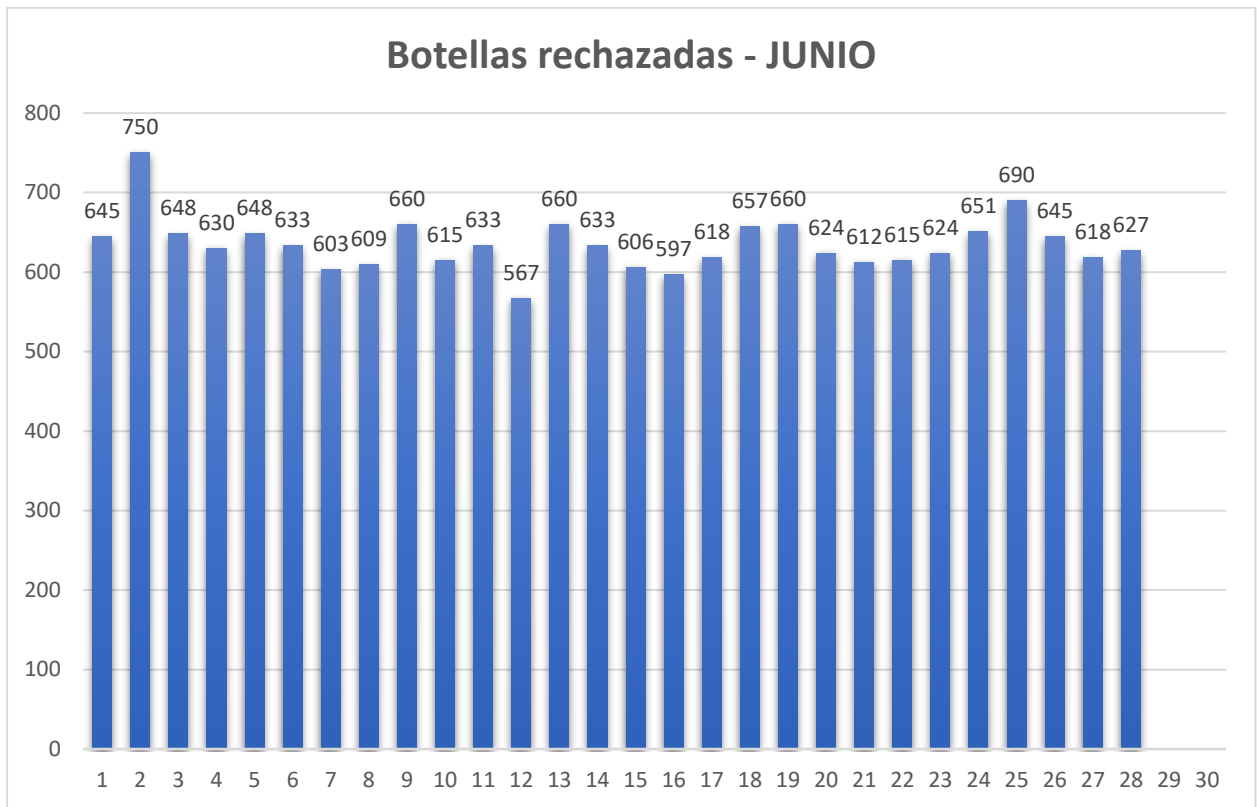
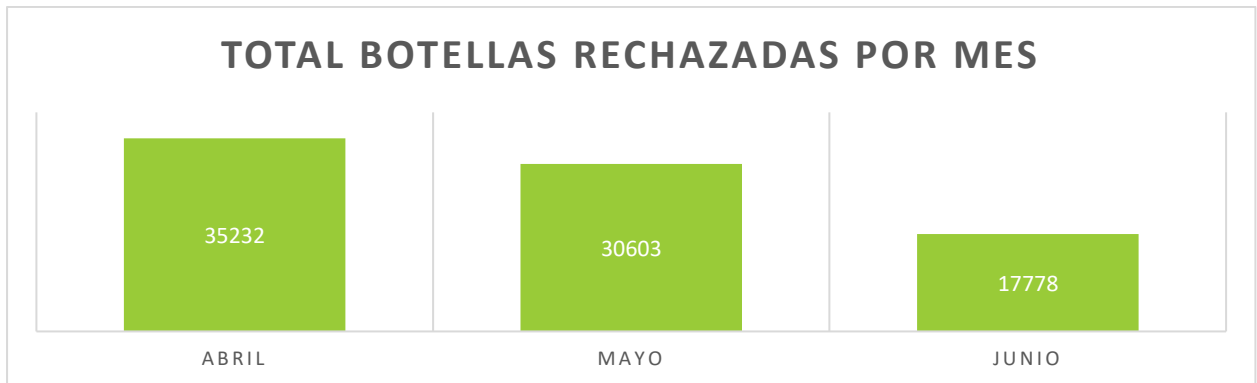


Tabla 9: total de botellas rechazadas por mes



Recordando que la implementación de la fase 1 del proyecto fue el día 12 de mayo y tuvo una corrección el día 2 de junio. Podemos identificar los siguientes valores haciendo comparativas de un antes y un después del proyecto de manera general.

Tabla 10: comparativa de reducción de botellas rechazadas desde abril 1 hasta mayo 11 (antes de proyecto) y mayo 12 a junio 28 (después de proyecto). Tomando fase 1 y fase 2 del proyecto como una sola.

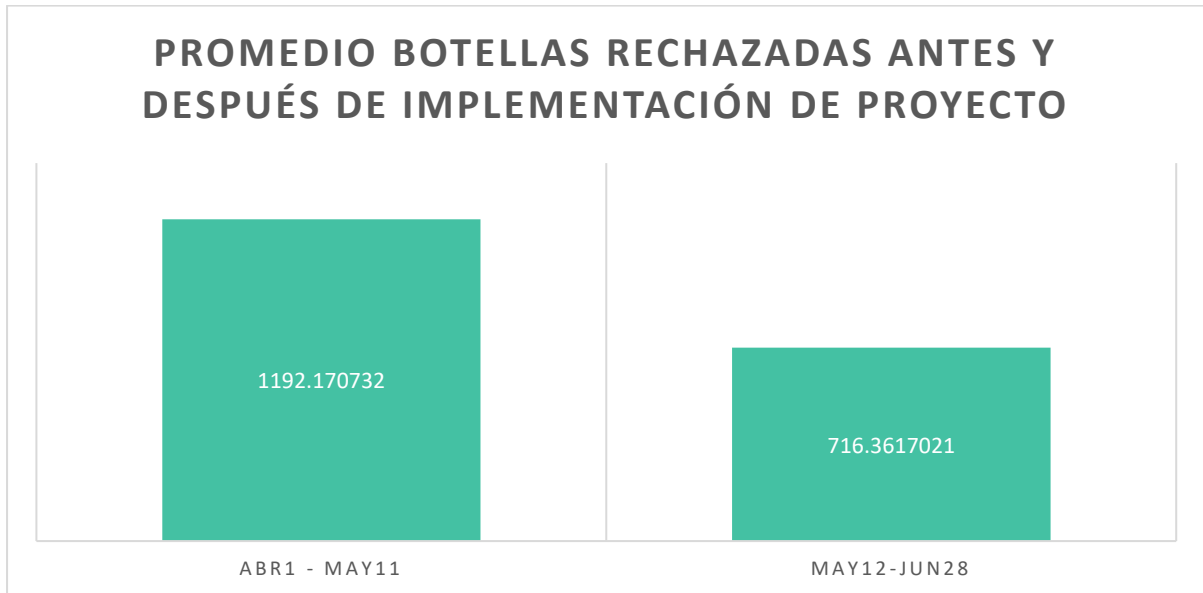
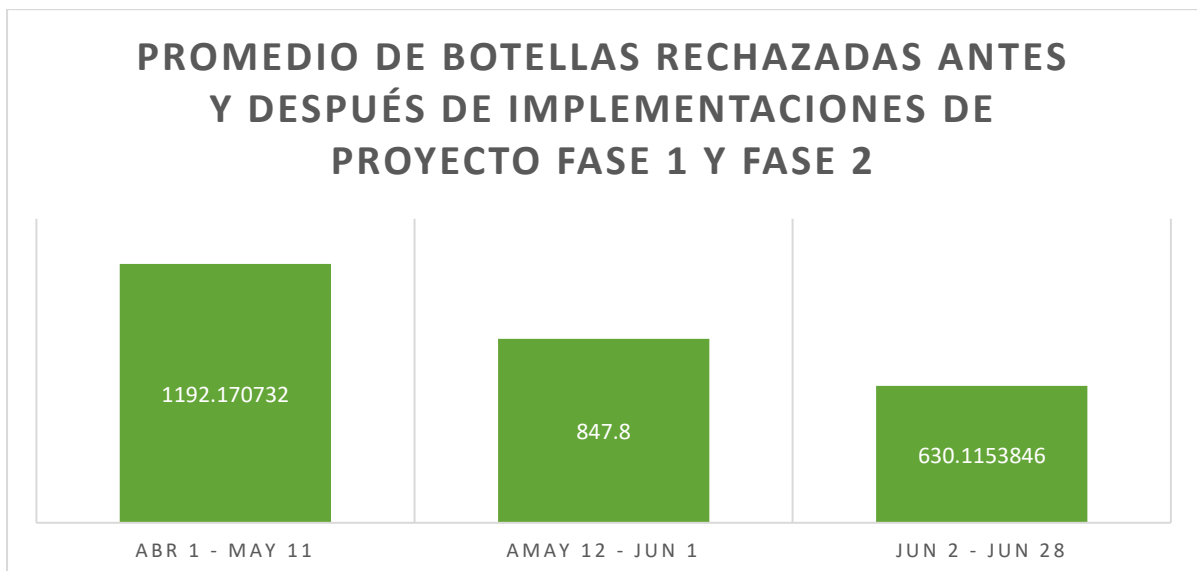


Tabla 11: comparación entre reducción de botellas rechazadas después de cada intervención.



Como se puede apreciar. La cantidad de botellas rechazadas disminuye drásticamente. Debido a que una de las principales razones era la sobrepresión que provocaba las botellas agitadas y esto provocaba que no tuviesen el nivel de llenado correcto.

Cabe mencionar que aquí también están contabilizadas botellas rechazadas por cualquier otra índole, ya sea: error en la botella, error en el sensor de rechazo o alguna otra imperfección fuera de lo que esté relacionado únicamente con llenado y la parte de presión.

5.3 ANÁLISIS DE TOMA DE DATOS

Luego de obtener los datos de botellas rechazadas, minutos de paro de producción y costos derivados de esto en la línea 80 (3). Se puede observar que la llenadora no era muy eficiente al momento de regular las presiones. Y que sus tiempos de paro eran muy prolongados debido a que no se lograba identificar rápido los problemas en las válvulas de presión.

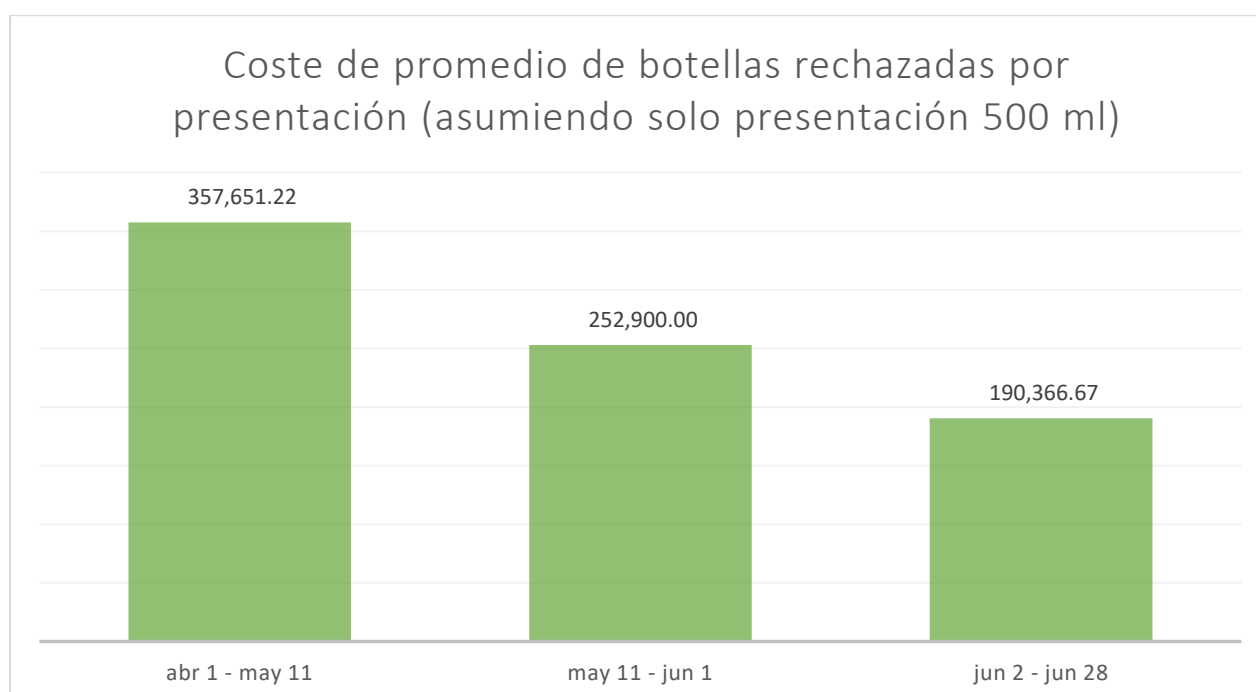
5.3.1 ANÁLISIS DE COSTOS DE BOTELLAS RECHAZADAS

Como se ha mencionado anteriormente, los problemas de presión derivan en otros problemas dentro de la línea de producción. Por eso, la reducción de botellas rechazadas fue uno de los puntos más importantes a evaluar ya que deriva en gastos y pérdidas como se muestra a continuación:

Tabla 12: datos de producción aproximados

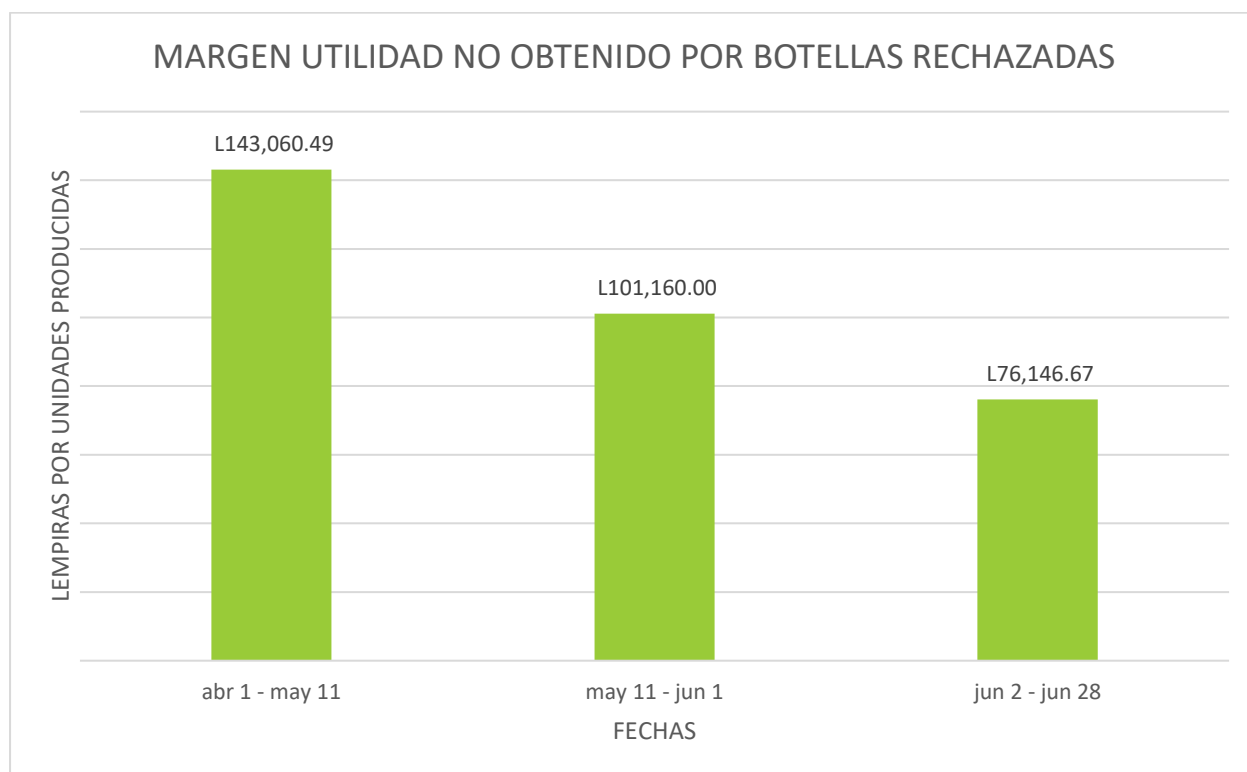
Datos de producción			
Presentación en ml	354	500	1.1
Velocidad nominal por presentación botella/hora	24000	18000	13000
Coste de botella aprox. por presentación en lempiras	9	10	11

Tabla 13: Tabla comparativa de los costos por botellas rechazadas en las distintas fases del proyecto.



Para conseguir este dato, debido a que el lapso no era el mismo entre cada intervención, se optó por sacar el promedio de botellas en su respectivo periodo de tiempo y posteriormente multiplicarse por 30 (1 mes) para conseguir un dato aproximado de las botellas rechazadas.

Tabla 14: margen de utilidad no obtenido por botellas rechazadas.



Margen utilidad no obtenido respecto a fase 1 y antes del proyecto:

$$\text{Margen de utilidad no obtenido} = \frac{101,160.00}{143,060.49} * 100$$

Ecuación 5: Margen de utilidad no obtenido por botellas rechazadas respecto a fase 1

$$\text{Margen de utilidad no obtenido por botellas rechazadas fase 1} = 70.711\%$$

Margen utilidad no obtenido respecto a fase 2 y antes del proyecto:

$$\text{Margen de utilidad no obtenido por botellas rechazadas fase 2} = \frac{76,146.67}{143,060.49} * 100$$

Ecuación 6: Margen de utilidad no obtenido por botellas rechazadas respecto a fase 2

$$\text{Margen de utilidad no obtenido por botellas rechazadas} = 53.226\%$$

5.3.2 COSTOS POR TIEMPOS DE PARO

Como se menciona en la sección 5.1.1, se asumirá un valor aproximado de coste de producción según su presentación.

Y ya que los datos que se poseen no están divididos en un lapso igual. Se optó por presentar en promedio el tiempo de paro según la fecha en que se encontraba el proyecto:

- Antes del proyecto: abril 1 – mayo 11
- Fase 1: mayo 12- junio 1
- Fase 2: junio 2 – junio 28

Tabla 15: datos de producción aproximados utilizados para el análisis de costo

Datos de producción			
Presentación en ml	354	500	1.1
Velocidad nominal por presentación	24000	18000	13000
Coste de botella aprox. por presentación	9	10	11

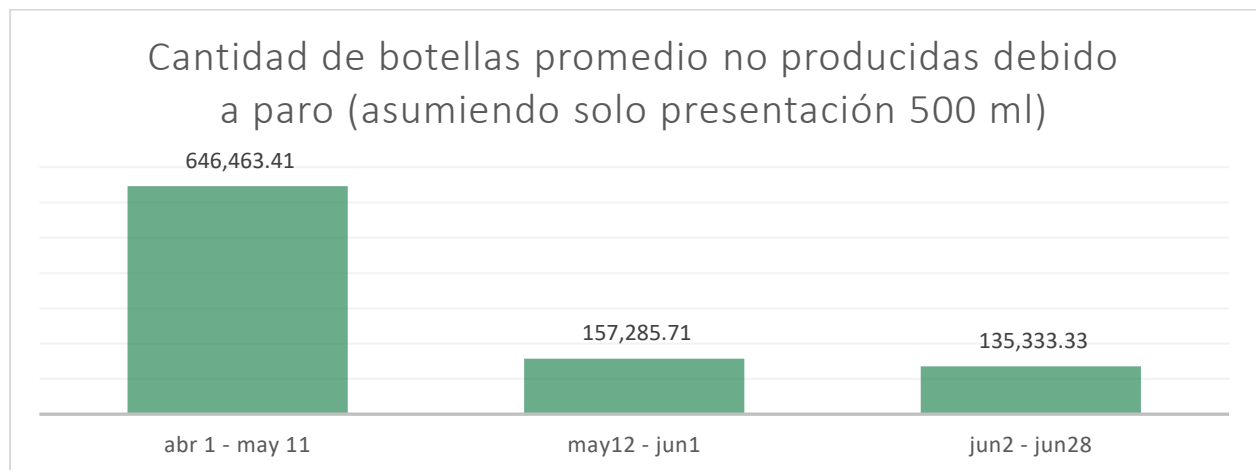
Tabla 16: Relación de promedio de tiempo de paro por presentación. Asumiendo que se trabajó solo con una de estas presentaciones.

fecha	Promedio de tiempo de paro en minutos por día	Promedio de tiempo de paro en minutos por mes	Presentación en mililitros		
			350	500	1.1
			Cantidad de botellas promedio no producidas según presentación debido a paro (asumiendo que solo se trabajó con esa presentación)		
abr 1 - may 11	71.82926829	2154.878049	861,951.22	646,463.41	466,890.24
may12 a jun01	17.47619048	524.2857143	209,714.29	157,285.71	113,595.24
jun02 a jun28	13.81481481	414.4444444	165,777.78	124,333.33	89,796.30

Debido a que la planta alterna presentaciones según tenga estipulado el área de producción. Se optó por presentar los datos asumiendo que sólo se trabaja con un tipo de presentación.

Para el análisis de costos, se presentará como si sólo se hubiese trabajado con la presentación de 500 ml. La cual, tiene un costo de producción aproximado, como se indica en la tabla 6, de L10.00. Y se vende a L14.00, lo que hace obtener una utilidad de L4.00 por cada botella vendida

Tabla 17: Promedio de botellas no producidas según la fase de avance de proyecto.



Así como en los costos por botellas rechazadas, se sacó un promedio del tiempo de paro en el respectivo lapso de implementación y luego se procedió a multiplicarse por 30 (1 mes) para posteriormente aplicar la siguiente fórmula y encontrar el valor aproximado de las botellas no producidas:

$$\frac{\text{botellas}}{h} * \frac{1h}{60 \text{ min}} * \text{minutos de paro} = \text{botellas no producidas}$$

Ecuación 7: Botellas no producidas

Este es un dato muy importante que tomar en cuenta en cualquier línea de producción. La cantidad de producto que dejamos de producir por x o y motivo. En este caso, por los minutos de paro. Se nota ampliamente la reducción de minutos de paro posterior a la implementación de la fase 1 del proyecto (may12). Esto se debe a que las fallas por presión representaban una gran cantidad de paros dependientes, además de la verificación rápida de las válvulas, agilizando así el proceso de mantenimiento.

La cantidad de botellas no producidas desemboca directamente en otro punto: el dinero que estamos dejando de ganar debido a que hay menos producto que vender.

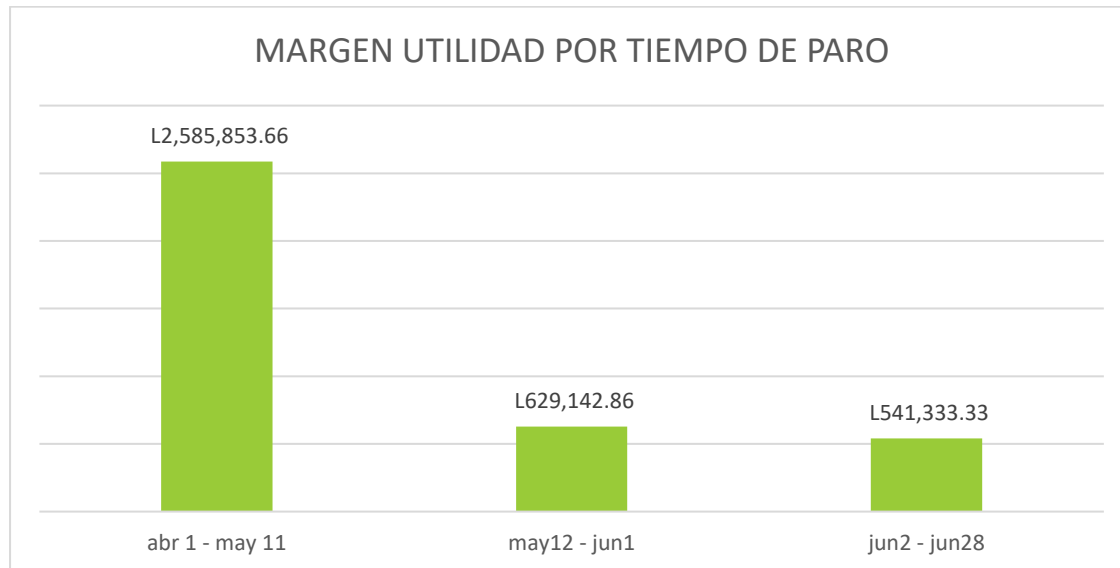
Esto se entiende de la siguiente manera:

Cada botella tiene un coste de producción de L10.00. Cada botella es vendida a L14.00. Por lo cual se obtiene una ganancia por botella de L4.00.

En este caso, como las botellas no están siendo producidas, no se están invirtiendo los L10.00 pero también debe notarse que se están dejando de ganar los L4.00. lo que, debido a los

altísimos niveles de producción (véase tabla16), resultan ser valores muy considerables como se muestra a continuación:

Tabla 18: margen de utilidad que se pudo haber obtenido de no ser por los minutos de paro.



Utilizando los datos promediados presentados en la tabla 18, se logran obtener estos resultados.

El margen que, debido a los minutos perdidos por paro, no pudo conseguirse. Puede apreciarse una gran disminución respecto a la fase anterior al proyecto con la fase 2 (jun2-jun28). Lo que significa en que se está perdiendo menos.

Margen utilidad no obtenido respecto a fase 1 y antes del proyecto:

$$\text{Margen de utilidad no obtenido} = \frac{629,142.86}{2,585,853.66} * 100$$

Ecuación 8: Margen de utilidad no obtenido por botellas no producidas respecto a fase 1

$$\text{Margen de utilidad no obtenido por botellas no producidas respecto a fase 1} = 24.332\%$$

Margen utilidad no obtenido respecto a fase 2 y antes del proyecto:

$$\text{Margen de utilidad no obtenido} = \frac{541,333.33}{2,585,853.66} * 100$$

Ecuación 9: Margen de utilidad no obtenido por botellas no producidas respecto a fase 2

Margen de utilidad no obtenido por botellas no producidas respecto a fase 2 = 20.936%

VI. CONCLUSIONES

“La conclusión está en directa relación con algo que se admitió, propuso o evidenció anteriormente en la introducción y el desarrollo del texto. Así, en la conclusión se reitera la tesis que se defendió en el texto o la idea que se abordó en el trabajo; se da respuesta a las preguntas iniciales o se revisa el cumplimiento de los objetivos presentados a la luz de lo elaborado en el desarrollo. De esta manera, podemos concebir la introducción como “un reflejo de la introducción”, pero con la información nueva que el trabajo desarrolla. ” (Pérez, 2017)

1. Se logró disminuir los minutos de paro desde la primera implementación del proyecto, logrando mejorar un poco más con la segunda implementación.
2. Se implementó de manera adecuada la corrección a la pantalla de control para poder controlar las válvulas de CO₂ de la línea 80 (3) de una manera remota y percibir si existe algún tipo de fallo en ellas.
3. Se logró reducir de manera considerable la cantidad de botellas rechazadas debido a la mejora en el controlador PID que controlaba la entrada/salida del CO₂.

VII. RECOMENDACIONES

7.1 PARA LA EMPRESA

- Mejorar el sistema de transporte aéreo. Éste tiene unas barandas ajustables para los distintos tipos de presentaciones. Antes esta sección estaba automatizada, pero ahora deben ajustarse manualmente con pequeños golpes lo que provoca, desgaste y deformaciones de estas barandas que suelen provocar que las botellas se traben y un operario tenga que destrabarlas con un tubo largo. Además, esta operación significa tiempo de paro considerable de hasta 20 minutos.
- Capacitar e informar a los operarios de la línea los cambios, mejoras y algunas sugerencias sobre los proyectos implementados, ya que en la primera implementación del proyecto ellos no sabían de las nuevas funciones.
- Buscar una manera efectiva de realizar un "overhall" para evitar desgaste del equipo y evitar tener que tener demasiados paros por mantenimiento correctivo. Esto se debe a que producción no permite realizar tantos paros por mantenimiento preventivo o no tan prolongados, por lo cual, no se pueden corregir tantos problemas en un solo paro.

7.2 PARA LA UNIVERSIDAD

- Añadir a la clase de "sensores y actuadores" temas relacionados con la industria. Por ejemplo: explicación sobre procesos industriales y que tipo de sensor podría ser el más adecuado en determinado punto.
- Mejorar las tecnologías y equipos en el laboratorio de electrónica. Implementando prácticas con variadores de frecuencia, arrancadores y control de motores.
- Profundizar en conocimientos de métodos de programación de PLC, como bien pueden ser "GRAFSET" o redes de Petri.

Bibliografía

- Appelt, D. (2001). *Getränkflaschenfüllung in übersichten*. Leipzig.
- Dirk Drechesel, F. V. (2001). *Wäge-, Abfüll- und Verpackungs- prozesse*. München.
- Enciclopedia de Conceptos*. (2018).
- Garibay, Q. (2004). *biotecnología alimentaria*. Limusa.
- Gútiez, I. (2017). *Step 7 Awl-fup-kop*.
- Harrington, H. J. (2005). *Business Process Improvement: The Breakthrough Strategy for Total Quality, Productivity, and Competitiveness*.
- Hauser, G. (2018). *EHEDG*.
- Heinz, L. (2002). *Wege aus dem Validierungsdschungel*. Frankfurt.
- Hennig, J. (2014). *Leitfaden für die fächerübergreifende Verpackunshausbildung*. Leipzig: Beuth Studium.
- Hernández, A. (2005). *Seguridad e higiene industrial*. México: Limusa.
- <http://conceptodefinicion.de/metodologia/>. (n.d.).
- Kneissl, A. (2004). *Entwicklung de Füllsysteme, en: Der Doemensianer* . Colonia.
- Koerv, O. (2007). *Wege aus dem Validierungsdschungel - Validierung asu der Sicht eines Apparateherstllers*. München.
- Krones. (2014).
- Kunze, W. (2016). *technologie für Brauer und Mälzer*. Berlin.
- Mazzone, V. (2002). *Controladores PID*.
- MEBAK. (2002). *Brauechnische Analysenmethoden, Gebinde und Produktausstattungsmitel*. Berlin.
- Meghan Deichart, M. E. (2006). *Industry analysis: soft drinks*. Ney York: Brandweek.
- Narziss, L. (2005). *abriss de Bierbrauerei*. Stuttgart.
- Pérez, C. G. (2017). *Programa de apoyo a la comunicación académica*.

Pfeifer, J. (2002). *Einfluss de Wasseraktivität sowie des Milieus zwischen Dichtungen und die Hitzeinaktivierung von Mikroorganismen am Beispiel bakterieller Sporen*. München: TU-München.

PID updated feedback. (2010).

R. Schäuble, A. B. (2010). *Korrosionen in der Getränkeindustrie*. Frankfurt : Carl, Nürnberg.

Rocatek. (2010). *Aplicaciones PID*.

Stehle, G. (2006). *Verpacken von Lebensmitteln*. Berlin.

Stehle, G. (2011). *Verpacken von Lebensmitteln*. Hamburg.

Vogelpohl, H. (2002). *Kunststoffflaschen für die Bierabfüllung*. Hamburg.

Wagner, L. V. (2006). *Handbuch der Bierbrauerei, Nach dem*. Würzburg.

Wilmer Jenkins, J. H. (2013). *Packagin foods with plastics*. Lancaster.

ANEXOS

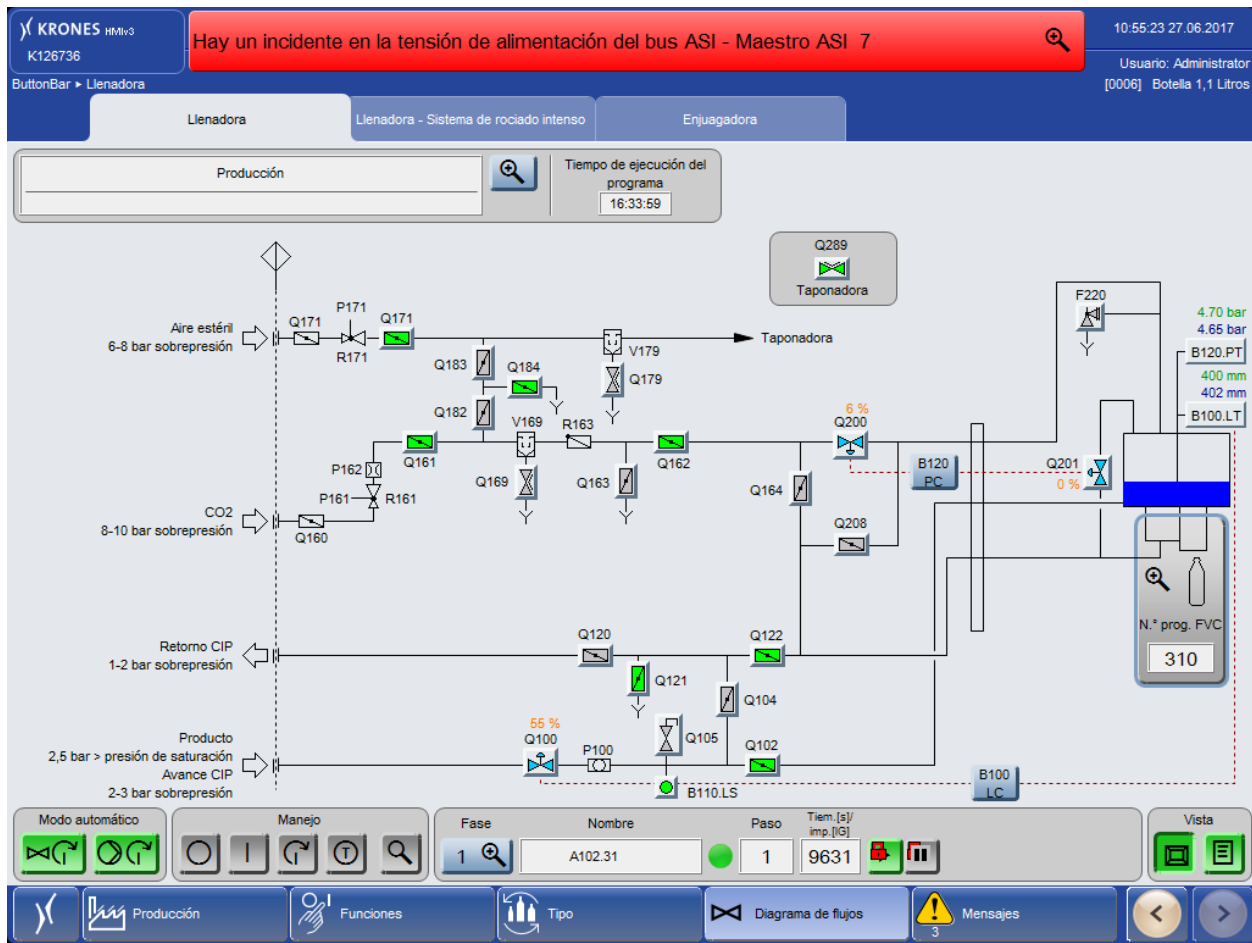


Ilustración 15: captura de pantalla de pantalla de control. Diagrama de control de válvulas de llenadora línea 80 (3).

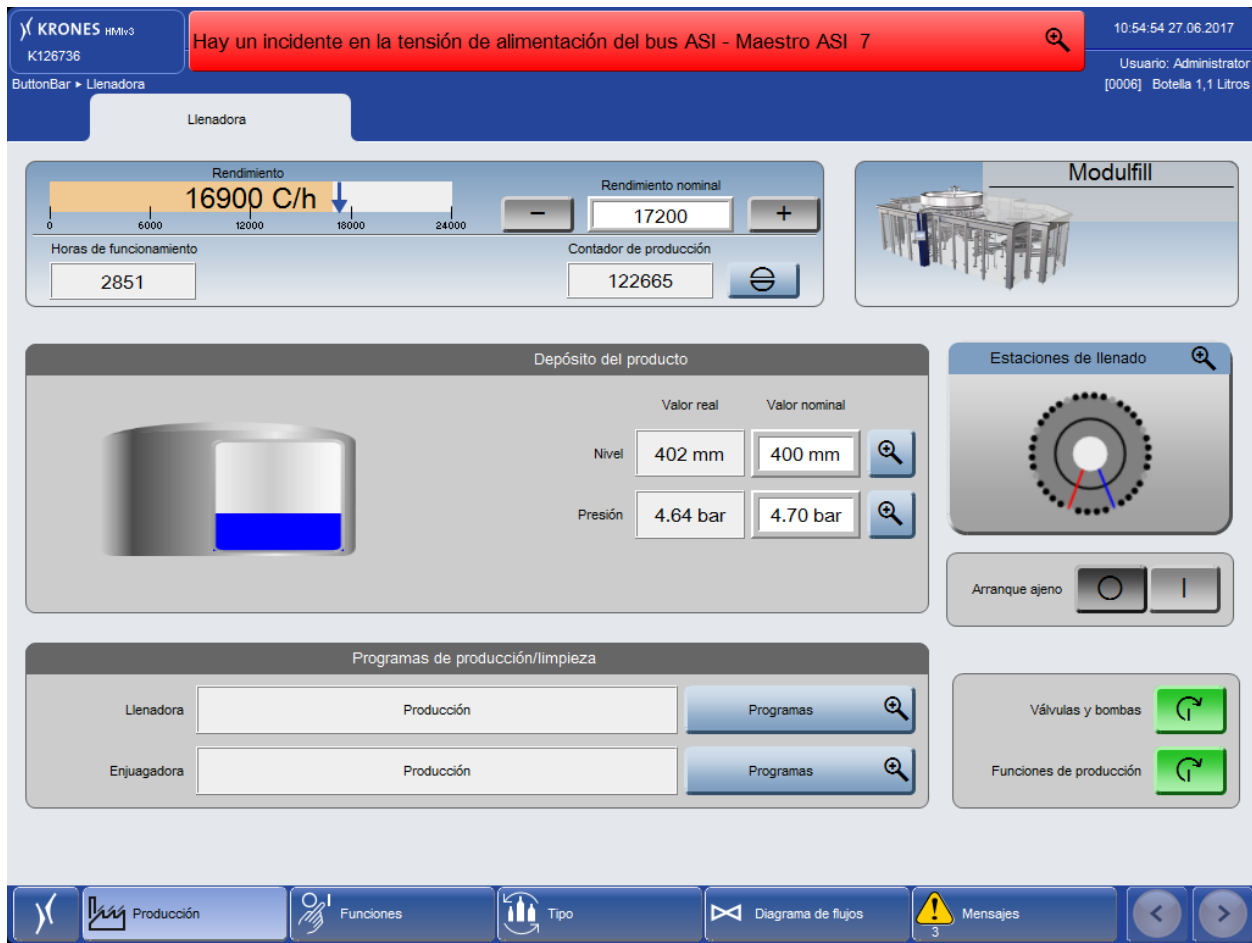


Ilustración 16: captura de pantalla de pantalla de control de llenadora línea 80 (3). Sección de control de presión y rendimiento nominal.