



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

**ANÁLISIS E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ESTÁNDAR AUTOMATIZADO
C.I.P, PARA PROPORCIONADORES DE BEBIDAS CARBONATADAS**

Wellington Emilio Vásquez Santos

Asesorado por el Ing. Julio Rolando Barrios Archila

Guatemala, septiembre del 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ESTÁNDAR AUTOMATIZADO
C.I.P, PARA PROPORCIONADORES DE BEBIDAS CARBONATADAS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

WELLINGTON EMILIO VÁSQUEZ SANTOS

ASESORADO POR EL ING. JULIO ROLANDO BARRIOS ARCHILA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRÓNICO

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

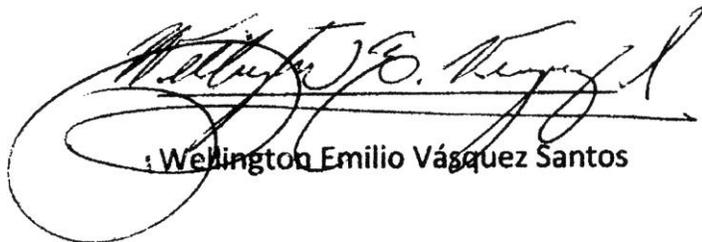
DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Luis Fernando García Cienfuegos
EXAMINADORA	Inga. María Magdalena Puente Romero
EXAMINADOR	Ing. Marvin Marino Hernández
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

ANÁLISIS E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ESTÁNDAR AUTOMATIZADO C.I.P, PARA PROPORCIONADORES DE BEBIDAS CARBONATADAS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería en Mecánica Eléctrica, con fecha septiembre de 2009.



Wellington Emilio Vázquez Santos



Guatemala, 11 de julio de 2011

Ing. Carlos Guzmán
Coordinador del Área de Electrónica
Escuela de Ingeniería Mecánica-Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero Guzmán:

Por este medio le informo que he revisado el trabajo de graduación titulado **“Análisis e implementación de un sistema estándar automatizado C.I.P, para proporcionadores de bebidas carbonatadas”**, elaborado por el estudiante Wellington Emilio Vásquez Santos.

El mencionado trabajo llena los requisitos para dar mi aprobación, e indicarle que el autor del mismo y mi persona somos responsables por el contenido y conclusiones del mismo.

Atentamente,

Ing. Julio Rolando Barrios Archila

Asesor

Julio Rolando Barrios Archila
Ingeniero Electricista
Colegiado No. 2833



Ref. EIME 45. 2011
Guatemala, 14 de JULIO 2011.

FACULTAD DE INGENIERIA

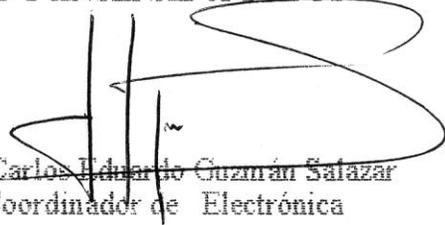
Señor Director
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
"ANÁLISIS E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ESTÁNDAR
AUTOMATIZADO C.I.P, PARA PROPORCIONADORES DE
BEBIDAS CARBONATADAS", del estudiante Wellington Emilio
Vásquez Santos, que cumple con los requisitos establecidos para tal
fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
DID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
Coordinador de Electrónica

CEGS/sro





REF. EIME 49. 2011.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; WELLINGTON EMILIO VÁSQUEZ SANTOS titulado: "ANÁLISIS E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ESTÁNDAR AUTOMATIZADO C.I.P, PROPORCIONADORES DE BEBIDAS CARBONATADAS", procede a la autorización del mismo.

Ing. Guillermo Antonio Puente Romero



GUATEMALA, 04 DE AGOSTO 2011.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **ANÁLISIS E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ESTANDAR AUTOMATIZADO C.I.P. PARA PROPORCIONADORES DE BEBIDAS CARBONATADAS**, presentado por el estudiante universitario **Wellington Emilio Vásquez Santos**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
DECANO



Guatemala, septiembre 2011

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por las bendiciones recibidas a lo largo de mi vida y estar siempre conmigo.
- Mis padres** Fredy Emilio Vásquez Morales y Nury Leslie Santos Aragón, por su incondicional apoyo, amor, cariño, sabios consejos y porque sin ellos este logro no podría ser posible.
- Mis hermanos** Wingston Guillermo y Willmer Josué por su cariño y apoyo.
- Mis abuelos** Guillermo II Santos Wassem, Carmelina Aragón Orellana (q.e.p.d.), Mariano Emilio Vásquez Robles y Magda Candelaria Morales, así como a Carlota de La Cruz por todo el cariño y los consejos que me han dado.
- Mis tíos y primos** Por el cariño y afecto que me demuestran, en especial a mi tía Carmen Santos Aragón.
- Mi novia** Carmen María Pérez Samayoa por todo su amor, cariño e incondicional apoyo.

Mis amigos y compañeros

Por los momentos agradables que
compartimos y su apoyo.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios

Por la vida.

**Embotelladora de agua
pura y refrescos**

Por permitirme realizar este trabajo de graduación en sus instalaciones.

**Ingeniero Julio Rolando
Barrios Archila**

Por apoyarme en la realización y asesorar este trabajo de graduación.

Equipo de ingenieros

Que hizo posible la realización de este trabajo de graduación, por el apoyo en el desarrollo del proyecto, especialmente a Carlos René Gil Pineda.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	I
GLOSARIO	III
ABREVIATURAS	V
RESUMEN	VII
OBJETIVOS	IX
INTRODUCCIÓN	XI
1. LIMPIEZA EN SITIO (CLEAN IN PLACE)	1
1.1. Definición	1
1.2. Importancia del sistema C.I.P.	1
1.3. Características del sistema C.I.P.	2
1.4. Tipos de C.I.P.	3
1.4.1. C.I.P. de 3 pasos	3
1.4.2. C.I.P. de 7 pasos	4
2. REQUERIMIENTOS PRINCIPALES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA C.I.P.	7
2.1. Equipos que requieren limpieza en sitio en una línea de producción de bebidas	7
2.1.1. Proporcionador	7
2.1.1.1. Descripción general de la mezcladora	7
2.1.1.2. Partes principales de la mezcladora	9

	2.1.1.2.1.	Bombas	9
	2.1.1.2.2.	Filtro de CO2	10
	2.1.1.2.3.	Carbonatador.....	10
2.1.2.	Llenadora.....		10
	2.1.2.1.	Descripción general de la llenadora	10
	2.1.2.2.	Partes principales de la llenadora	11
	2.1.2.2.1.	Mecanismos de entrada	11
	2.1.2.2.2.	Mecanismos de llenado	12
	2.1.2.2.3.	Mecanismos de salida	13
	2.1.2.2.4.	Coronadora	14
	2.2.2.2.5.	Panel de control.....	14
2.1.3.	Tanques.....		15
	2.1.3.1.	Tanque de deaireación	15
	2.1.3.2.	Tanque de amoniaco.....	15
	2.1.3.3.	Tanque de recuperación de amoniaco	15
	2.1.3.4.	Tanque de jarabe	15
	2.1.3.5.	Tanque de estabilización.....	16
2.1.4.	Tuberías		16
2.2.	Soluciones utilizadas en el proceso		17
	2.2.1.	Detergente.....	17
	2.2.1.1.	Uso y dosificación	17
	2.2.1.2.	Propiedades	17
	2.2.2.	Cloro.....	17
	2.2.2.1.	Uso y dosificación	18
	2.2.3.	Desinfectante.....	18
	2.2.3.1.	Uso y dosificación	18
2.3.	Presión, velocidades y tiempos en tuberías.....		19
2.4.	Consideraciones en el diseño.....		20

3.	ANÁLISIS TÉCNICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA C.I.P	21
3.1.	Autómatas programables y variadores de frecuencia	21
3.1.1.	Autómatas programables	21
3.1.1.1.	Señales analógicas y digitales	22
3.1.1.2.	Capacidades E/S en los PLC modulares	23
3.1.1.3.	Programación	23
3.1.1.4.	Comunicación	26
3.1.2.	Variadores de frecuencia.....	27
3.1.2.1.	Principio de funcionamiento	27
3.1.2.2.	Motor del VDF	28
3.1.2.3.	Controlador del VDF	28
3.2.	Bombas y válvulas electrónicas	29
3.2.1.	Bombas	29
3.2.2.	Válvula de bola.....	34
3.3.	Protocolos de comunicación industrial (sugeridos en la implementación de un sistema C.I.P).....	35
3.3.1.	Profibus	35
3.3.1.1.	Origen.....	35
3.3.1.2.	Versiones	35
3.3.1.3.	Conexiones físicas.....	36
3.3.1.4.	Comunicaciones	36
3.3.1.5.	Detalles sobre profibus DP	38
3.3.2.	Modbus	38
3.4.	Propuesta técnica de un sistema C.I.P.	40
3.4.1.	Componentes eléctrico/electrónicos necesarios para la implementación del sistema.....	40
3.4.2.	Detalles técnicos para la implementación de un sistema C.I.P. automatizado.....	41

3.4.3.	Propuesta de un diagrama de proceso para un sistema C.I.P. en una línea de producción de bebidas.....	44
3.4.4.	Propuesta de diagrama de bloques para la conexión de elementos eléctrico/electrónicos utilizados en la automatización de un sistema C.I.P.	46
3.4.5.	Propuesta para la programación de un PLC para la implementación de un sistema C.I.P.	48
4.	ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE LIMPIEZA EN SITIO	53
4.1.	Beneficios de la implementación del sistema C.I.P	53
4.2.	Evaluación económica de un proyecto de automatización de un sistema C.I.P.	53
	CONCLUSIONES	59
	RECOMENDACIONES	61
	BIBLIOGRAFÍA	63

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Diagrama de un sistema de limpieza en sitio C.I.P.....	43
2.	Diagrama de proceso de un sistema de limpieza en sitio C.I.P	45
3.	Diagrama de bloques de un sistema de limpieza en sitio C.I.P	47
4.	Programa de PLC	49

TABLAS

I.	Componentes eléctrico/electrónicos	39
II.	Tabla de descripción de entradas/salidas del PLC.....	48
III.	Consumos eléctricos de operaciones	54
IV.	Costos para diferentes escenarios del proceso.....	54
V.	Consumos eléctricos de operaciones del sistema.....	54
VI.	Costos de elementos para implementación del sistema.....	55
VII.	Tabla con valores de flujo de efectivo del proyecto	58

GLOSARIO

Álabe

Paleta curva de una turbomáquina o máquina generalmente de fluido rotodinámica. Forma parte del rodete y, en su caso, también del difusor o del distribuidor. Los álabes desvían el flujo de corriente, bien para la transformación entre energía cinética y energía de presión por el principio de Bernoulli, o bien para intercambiar cantidad de movimiento del fluido con un momento de fuerza en el eje.

Amoniaco

Trihidruro de nitrógeno, hidruro de nitrógeno (III), es un compuesto químico cuya molécula consiste en un átomo de nitrógeno (N) y tres átomos de hidrógeno (H) de acuerdo a la fórmula NH_3 .

Baudio

Unidad de medida, usada en telecomunicaciones, que representa la cantidad de veces que cambia el estado de una señal en un periodo de tiempo, tanto para señales digitales como para señales analógicas.

Caudal

Cantidad de fluido que avanza en una unidad de tiempo.

ABREVIATURAS

Abreviatura	Significado
CA	Corriente alterna.
CC	Corriente continua.
CO₂	Dióxido de carbono.
GPM	Galones por minuto.
MIH	Máquina de interfaz humana.
Mbps	Mega <i>bytes</i> por segundo.
ppm	Partes por millón.
RPM	Revoluciones por minuto.
VDF	Variador de frecuencia.

RESUMEN

Un requisito básico para la producción higiénica de alimentos y bebidas de alta calidad, es que la planta de proceso esté escrupulosamente limpia. Partes de la planta como tuberías, tanques, llenadoras, etc., deben ser limpiadas inmediatamente después de terminado el ciclo productivo para que en la próxima partida el sistema esté limpio y libre de gérmenes patógenos.

C.I.P. significa limpieza en sitio (*clean in place*), es decir, limpieza sin desmontaje del equipo de producción, lo cual supone una ventaja notable respecto a los sistemas tradicionales de limpieza.

El propósito del sistema C.I.P. es eliminar los depósitos de compuestos orgánicos propios del proceso como precipitados de proteínas, hidratos de carbono, grasas, minerales y otros; que son la base nutricional para el crecimiento bacteriano y precursores de fenómenos de biocorrosión.

La limpieza de tuberías es una limpieza química basada en los parámetros concentración y tipo de agentes de limpieza, temperatura, tiempo y trabajo mecánico. La suciedad se disuelve químicamente y la velocidad de flujo debe ser adecuada para la descarga de las partículas desprendidas de suciedad. Los programas de lavado dependerán del producto, sistema y exigencias de sanitización.

En la actualidad muchas plantas donde se procesan alimentos y bebidas aún realizan estos procedimientos de forma manual con recurso humano por lo que la automatización de este tipo de sistemas hace que se tengan ahorros

considerables debido a que el trabajo humano se ve reemplazado por un controlador capaz de realizar las tareas de control del sistema y realizar la limpieza únicamente con la supervisión de una persona, ahorrando así tiempo y dinero en el proceso de limpieza, además de otras ventajas.

OBJETIVOS

General

Diseñar e implementar un sistema automatizado de C.I.P. para proporcionadores de bebidas carbonatadas, encontrar una convergencia técnica-económica, y de este modo asegurar una decisión acertada.

Específicos

1. Conocer los fundamentos generales teóricos del proceso de limpieza en sitio para conocer el sistema que se desea implementar.
2. Determinar los aspectos técnicos más importantes para la implementación de un sistema automático de limpieza en sitio.
3. Describir y analizar los aspectos fundamentales a tomar en cuenta para la planificación de la implementación del sistema.
4. Diseñar e implementar en base a un análisis económico el sistema automatizado de limpieza en sitio.

INTRODUCCIÓN

Para realizar un proyecto de implementación de un sistema automático de limpieza en sitio, es necesaria una planificación previa, tomando en cuenta aspectos técnicos y operativos con lo cual se pretende la optimización de los recursos necesarios para la implementación del sistema y de esta forma obtener los beneficios que el sistema nos ofrece.

Es común que se analice, solamente, uno de los aspectos mencionados, sin embargo, para que se pueda garantizar un proyecto de esta índole, se debe asesorar, profesionalmente, haciendo un análisis exhaustivo de estos puntos.

Con este trabajo de graduación se busca exponer puntos importantes que orienten a personas dedicadas a la producción de bebidas carbonatadas, acerca de los parámetros fundamentales que se deben tomar en cuenta en la implementación de un sistema automatizado de limpieza, para alcanzar un proyecto funcional, rentable y que preste la calidad del servicio esperado.

1. LIMPIEZA EN SITIO (*CLEAN IN PLACE*)

1.1. Definición

C.I.P. (*Clean-in-Place*) significa limpieza en sitio, es decir, limpieza sin desmontaje del equipo de proceso en una línea de producción cuyas superficies tienen contacto con el producto a través de la circulación controlada de agentes esterilizadores y de limpieza.

1.1. Importancia del sistema C.I.P.

La importancia del sistema de C.I.P. radica en mantener la inocuidad de los alimentos en una línea de producción, en este caso de bebidas, así como hacer más eficiente el proceso de limpieza cuyo propósito es eliminar los depósitos de compuestos orgánicos propios del proceso como precipitados de proteínas, hidratos de carbono, grasas, minerales y otros, que son la base nutricional para el crecimiento bacteriano y precursores de fenómenos de biocorrosión.

Un aspecto a tener en cuenta para la correcta limpieza es que la totalidad de la superficie interior, incluyendo todos los accesorios, se inunde y que el agente de lavado fluya continuamente. Se debe evitar la acumulación de líquido en el fondo de los equipos, porque el líquido que permanece en el interior de la línea pierde su capacidad de esterilización, desapareciendo el efecto de lavado.

La limpieza de tuberías es también una limpieza química basada en los parámetros concentración y tipo de agentes de limpieza, temperatura, tiempo y trabajo mecánico.

La suciedad se disuelve químicamente y la velocidad de flujo debe ser adecuada para la descarga de las partículas desprendidas de suciedad. Los programas de lavado dependerán del producto, sistema y exigencias de sanitización.

1.3. Características del sistema C.I.P.

Para obtener todas las ventajas de la implementación del sistema de limpieza en sitio, debemos cuidar ciertas características del sistema en sí, tales como la selección del sistema de circulación y la aplicación del C.I.P. a la operación. Un equipo y una aplicación inadecuados pueden hacer que se pierdan los beneficios y ahorros que justifican la implementación de un sistema automatizado de C.I.P.

La limpieza actual de las líneas de producción utilizando un sistema de C.I.P es realizada por recirculación, utilizando soluciones de limpieza y desinfección a una velocidad, temperatura y tiempo adecuados. La programación de un sistema C.I.P. depende del tipo de circuito a utilizar, equipo y líneas de producción a ser limpiadas.

El circuito abierto es más frecuente utilizarlo en limpieza de almacenamiento de jarabe o tanques de almacenamiento, y el circuito cerrado para la limpieza continua de unidades de proceso y líneas de producción. Cada tipo de circuito requiere diferente tipo de programa de limpieza.

Diferentes programas son requeridos para la limpieza de una línea de producción fría o caliente por ejemplo; variables de la solución limpiadora, la concentración, velocidad, temperatura, o el tiempo de aplicación.

Debido a estas variaciones en el ciclo de limpieza para un sistema C.I.P. tenemos que tener cuidado al seleccionar el equipo de circulación y el programa de control apropiados en la aplicación del sistema, ya que este equipo es el encargado de la aplicación correcta de las soluciones de limpieza a una concentración óptima, temperatura y velocidad.

Hay varios tipos de unidades de circulación usados en la actualidad. Unidades con uno, dos o tres tanques, numerosas versiones de estas unidades están actualmente en cientos de plantas de proceso. Las unidades de dos y tres tanques son aquellas que cubren un rango más ancho de operaciones de limpieza.

1.4. Tipos de C.I.P.

Una rutina típica de limpieza para una línea de producción de circuito cerrado podría ser como sigue, según el tipo de C.I.P. a realizar.

1.4.1. C.I.P. de 3 pasos

En un proceso de C.I.P. de 3 pasos el procedimiento de aplicación de soluciones de limpieza se describe a continuación:

Agua tratada

- Llenar el tanque de C.I.P. con agua tratada.

- Comenzar la circulación de agua tratada en la llenadora y el proporcionador, verificar que la presión de entrada de agua en la llenadora sea de 80 a 100 psi.
- Dejar derramar el agua tratada por la llenadora durante 10 minutos.

Cloro a 100 ppm

- Formular en el tanque de C.I.P. solución de cloro.
- Recircular por el sistema durante 20 minutos.

Agua tratada

- Llenar el tanque de C.I.P. con agua tratada.
- Comenzar la circulación de agua tratada en la llenadora y el proporcionador, verificar que la presión de entrada de agua en la llenadora sea de 80 a 100 psi.
- Dejar derramar el agua tratada por la llenadora durante 10 minutos.

1.4.2. C.I.P. de 7 pasos

En un proceso de C.I.P. de 7 pasos el procedimiento de aplicación de soluciones de limpieza se describe a continuación:

Agua tratada

- Llenar el tanque de C.I.P. con agua tratada.

- Comenzar la circulación de agua tratada en la llenadora y el proporcionador, verificar que la presión de entrada de agua en la llenadora sea de 80 a 100 psi.
- Dejar derramar el agua tratada por la llenadora durante 10 minutos.

Detergente

- Formular en el tanque de C.I.P. solución de detergente.
- Recircular por el sistema durante 30 minutos.

Agua tratada

- Llenar el tanque de C.I.P. con agua tratada.
- Comenzar la circulación de agua tratada en la llenadora y el proporcionador, verificar que la presión de entrada de agua en la llenadora sea de 80 a 100 psi.
- Recircular el agua tratada por la llenadora durante 20 minutos.
- Abrir válvula de drenaje para vaciar el sistema.

Cloro a 100 ppm

- Formular en el tanque de C.I.P. solución de cloro.
- Recircular por el sistema durante 30 minutos.
- Abrir válvula de drenaje para vaciar el sistema.

Agua tratada

- Llenar el tanque de C.I.P. con agua tratada.

- Comenzar la circulación de agua tratada en la llenadora y el proporcionador, verificar que la presión de entrada de agua en la llenadora sea de 80 a 100 psi.
- Recircular agua tratada en la llenadora durante 20 minutos.
- Abrir válvula de drenaje para vaciar el sistema.

Sanitizante

- Formular en el tanque de C.I.P. solución de sanitizante.
- Recircular por el sistema durante 30 minutos.

Agua tratada

- Llenar el tanque de C.I.P. con agua tratada.
- Comenzar la circulación de agua tratada en la llenadora y el proporcionador, verificar que la presión de entrada de agua en la llenadora sea de 80 a 100 psi.
- Recircular agua tratada en la llenadora durante 20 minutos.
- Abrir válvula de drenaje para vaciar el sistema.

2. REQUERIMIENTOS PRINCIPALES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA C.I.P

2.1. Equipos que requieren limpieza en sitio en una línea de producción de bebidas

2.1.1. Proporcionador

El proporcionador o mezclador es el equipo que se encarga de la correcta dosificación de agua tratada y jarabe para la obtención de la bebida final. A la vez el mezclador se encarga de carbonatar el producto, por lo que el correcto funcionamiento de su sistema de refrigeración y dosificación de dióxido de carbono (CO₂) son claves para que el producto terminado tenga la carbonatación correcta.

El producto del mezclador es la bebida o producto final que se envía a la llenadora para el envasado. Es el producto que recibe el consumidor final, razón por la cual el buen funcionamiento de la máquina es crítico pues debe de proveer un producto de excelente calidad.

2.1.1.1. Descripción general de la mezcladora

La mezcladora es un sistema de mezclado en línea, montado sobre deslizadores, que consiste de cuatro componentes principales:

- Deaereación
- Mezclado
- Carbonatación
- Tanque de estabilización

Para que la mezcladora pueda funcionar, debe contar con una correcta alimentación de los siguientes suministros:

- Dióxido de Carbono (CO₂)
- Aire
- Agua Tratada
- Amoniaco
- Jarabe

La mezcladora está diseñada para remover el aire del agua de entrada y mezclarla con el jarabe para crear la mezcla de producto final que se desee.

El producto es luego carbonatado a una concentración específica característica de cada sabor, y almacenado en el tanque de estabilización donde se mantiene el producto carbonatado.

El proceso de mezclado se lleva a cabo con una serie de tanques, bombas y válvulas de control, que controlan el agua, el jarabe y el CO₂ conforme se necesite.

2.1.1.2. Partes principales de la mezcladora

2.1.1.2.1. Bombas

- Carbonatador
- Jarabe
- Producto
- Vacío

Bomba del carbonatador

La bomba del carbonatador, tiene la función de enviar la mezcla de jarabe y agua deaerada hacia la tubería donde se realizará la carbonatación de la mezcla. Esta es una bomba centrífuga.

Bomba del jarabe

Esta es una bomba centrífuga de que se encarga de enviar el jarabe ya recibido por la mezcladora hacia el lugar donde se realizará la mezcla del jarabe con agua deaerada.

Bomba de vacío

La función de la bomba de vacío consiste en sustraer todo el aire que pueda existir dentro del tanque deaerador de tal forma que se elimine el exceso de oxígeno del agua, antes de ser mezclada con el jarabe.

Bomba del producto

La bomba del producto es una bomba centrífuga que se encarga de enviar la mezcla ya convertida en producto final (jarabe y agua deareada con dióxido de carbono (CO₂)), hacia la llenadora.

2.1.1.2.2. Filtro de dióxido de carbono (CO₂)

Es un filtro que contiene redes de acero inoxidable y un elemento que puede retener partículas de hasta 5 μ (micras). Es un filtro de seguridad que asegura la pureza de dióxido de carbono (CO₂) que se utiliza en el proceso de mezclado.

2.1.1.2.3. Carbonatador

Este equipo consta de una pieza de acero inoxidable, que aumenta la turbulencia del flujo, logrando una mezcla de dióxido de carbono (CO₂) con el jarabe frío proveniente del enfriador.

2.1.2. Llenadora

Esta máquina tiene la función de llenar los envases con la bebida final que proviene de la mezcladora. Al mismo tiempo la máquina se encarga también de colocar la tapa de los envases.

2.1.2.1. Descripción general de la llenadora

La llenadora es la máquina encargada de llenar el envase de vidrio en diversas presentaciones. El envase que se llena aquí, proviene del inspector

de botellas y es transportado por medio de bandas. Las bandas de transporte, llevan los envases hacia el interior de la llenadora.

Luego que los envases salen de la llenadora, ingresan a la taponadora que es la máquina que se encarga de colocarle la tapa a cada envase.

Así que de lo anterior podemos decir que las partes principales de la máquina son:

- Mecanismos de entrada
- Mecanismos de llenado
- Mecanismos de salida
- Coronadora
- Panel de control

2.1.2.2. Partes principales de la llenadora

2.1.2.2.1. Mecanismos de entrada

Los envases son conducidos hacia los mecanismos de ingreso por medio de dos bandas transportadoras. Estas bandas se encuentran conformadas por tablillas de acero inoxidable las cuales son movidas por medio de un conjunto de cadenas, que a su vez son accionadas por dos motorreductores eléctricos que se encuentran colocados en los finales de cada banda.

Cuando los envases llegan al final de las bandas transportadoras, ingresan a un tornillo sin fin, el cual es una pieza plástica de forma helicoidal. Este es accionado por un conjunto de engranajes internos de la misma

máquina. La función del tornillo sin fin es la de acomodar los envases de tal forma que exista un espacio adecuado entre cada uno y pueda así cada envase ser acomodado correctamente en la estrella de ingreso.

La estrella de ingreso, es una pieza plástica que por los picos que tiene en su alrededor le dan la forma de una estrella. Esta es la encargada de recibir el envase que sale del tornillo sin fin y lo transporta hacia el carrusel de llenado. Este transporte en la estrella de ingreso se realiza de forma tal que el envase pueda ser acomodado correctamente en el carrusel.

2.1.2.2.2. Mecanismos de llenado

En el momento de salir los envases de la estrella de ingreso, entra al carrusel de llenado. Este carrusel está conformado por una serie de mecanismos auxiliares que permiten el llenado de los envases.

Principalmente el carrusel se encuentra conformado por la taza del producto, la cual es un depósito cilíndrico de acero inoxidable. A esta taza se encuentran unidos y sincronizados la mayor parte de equipos auxiliares que permiten el llenado de los envases. La taza del producto, es el depósito de la llenadora, ya que este es el lugar en donde se encuentra contenida la bebida que proviene de la mezcladora. La taza de la llenadora, es movida por medio de un conjunto de engranajes internos de la máquina que a su vez son movidos por medio de un motorreductor eléctrico.

La taza en todo su alrededor, posee válvulas de llenado, teniendo un número igual de palancas de mando, estas palancas son las que se encargan de abrir o cerrar las válvulas.

Las palancas de mando, durante todo el proceso de llenado, se puede observar que varían en tres posiciones, la primera posición es arriba, e indica que la válvula de llenado está abierta y se está realizando llenado de la bebida en el envase. La segunda posición es en el medio, e indica que la válvula funciona automáticamente. Y la tercera posición es abajo e indica que la válvula de llenado está cerrada y no existe paso de bebida hacia el envase.

Cada una de las botellas que ingresan al carrusel se encuentra separada de la que le sigue por medio de láminas de acero inoxidable.

Al separar cada envase uno del otro, se busca que en el momento de explotar un envase, no exploten los que se encuentran a los lados.

En el proceso de llenado de las botellas, la bebida fluye hacia estas por gravedad. Durante el proceso de llenado, el gas existente en el interior de las botellas es enviado al depósito de la bebida (taza) a través del tubo de retorno de aire. Este tubo de retorno de aire, es un pequeño tubo de acero inoxidable, que según la presentación que se esté llenando, así será la longitud del mismo. En el momento en que la bebida alcanza el final de este tubo de retorno de aire, el resto de aire contenido en la botella ya no puede ser enviado al depósito de la bebida y es entonces cuando ha terminado el llenado de la bebida en el envase.

2.1.2.2.3. Mecanismos de salida

Inmediatamente después de ser liberado el envase del carrusel, éste pasa hacia la estrella de salida, la que permite que el envase sea tomado de los porta-envases del carrusel y sea llevado a la estrella de la taponadora.

Esta al igual que la estrella de ingreso, es una pieza plástica que posee en su contorno un conjunto de picos que le dan la forma de estrella. Formándose entre cada dos picos el espacio donde se ajustará la botella que saldrá de la llenadora.

Para la salida, se hace necesario el uso de una pista guía, que es una pieza de plástico que permite la conducción correcta de los envases hacia los espacios de la estrella de salida.

2.1.2.2.4. Coronadora

Esta máquina es la que tiene la función de colocar las tapas de corona a los envases que salen de la llenadora. Todas las tapas metálicas, provienen del transportador de tapas, que esta conformado por un conjunto de bandas magnéticas que realizan el suministro de tapas hacia la tolva de la coronadora.

2.1.2.2.5. Panel de control

Por medio de este panel de control, podemos conocer tanto el estado en que se encuentra trabajando la máquina como también por medio de los controles que posee podemos hacer que trabaje de la forma en que nosotros deseamos. Así que para poder hacer llegar a la máquina la información necesaria se debe hacer uso de cada uno de los botones con que cuenta en su control. Cada uno de los botones y manijas con que cuenta este panel de control tiene una función específica.

2.1.3. Tanques

2.1.3.1. Tanque de deaireación

El tanque de deaireación, tiene como función recibir el agua que será utilizada para el proceso, en este tanque se elimina el aire por medio de una bomba de vacío con el fin de eliminar el oxígeno del agua. Este tanque trabaja a una presión de 100 psi y tiene aproximadamente un volumen de 1,5 m³

2.1.3.2. Tanque de amoniaco

Como su nombre lo indica, este es el tanque en el que se encuentra contenido el amoniaco (NH₃), que es el líquido refrigerante que circula por el sistema de enfriamiento.

2.1.3.3. Tanque de recuperación de amoniaco

Este tanque tiene la función de retener todos los sólidos y partículas en suspensión que puedan estar circulando por el sistema de enfriamiento, tal como aceite que pueda arrastrarse de los compresores y partículas que se puedan tener debido al desgaste de uniones, tuberías y residuos de soldaduras. Funciona como una purga de estos sólidos.

2.1.3.4. Tanque de jarabe

Este tanque recibe el jarabe que se bombea desde la sala de jarabes. El tanque trabaja a 100 psi y con un volumen aproximado de 0,05 m³, se encarga de mantener el producto a presión constante para que pueda trabajar eficientemente la bomba de jarabe.

2.1.3.5. Tanque de estabilización

Es el tanque que contiene el producto final, mantiene presión constante, para que la bomba trabaje con máxima eficiencia. Este tanque trabaja a una presión de 125 psi.

2.1.4. Tuberías

Existen algunas recomendaciones para el diseño de la tubería adecuada para el sistema C.I.P según sea el caso del sistema a diseñar, entre las cuales vale la pena considerar:

Verificar que la inclinación de las tuberías de retorno de C.I.P. sea la apropiada para asegurar el drenado apropiado de las soluciones de limpieza en las mismas.

La aplicación de esta norma debe ser cuidadosa debido a que el flujo de limpieza no es siempre necesariamente en la misma dirección.

Todas las soporterías de las tuberías deben ser colocadas adecuadamente para evitar que se pandeen y se haga demasiada fuerza en las conexiones lo cual produciría que la tubería se desensamble. Una distancia adecuada para la colocación de la soportería es de aproximadamente cada 10 pies.

Cuando existen varias tuberías en paralelo, es recomendable utilizar soportería tipo puente y no soportería individual para cada tubería, lo cual permite una flexibilidad adecuada en conjunto. Esto es importante considerando

que la tubería de acero inoxidable a 100 grados Fahrenheit sufre una expansión de aproximadamente 1 pulgada por cada 1000 pies.

2.2. Soluciones utilizadas en el proceso

2.2.1. Detergente

Detergente a base de ácido nítrico/cítrico, formulado para la limpieza en la industria embotelladora, cervecera y jugos, eliminando así la necesidad de un lavado alcalino.

2.2.1.1. Uso y dosificación

Para limpieza de líneas, llenadoras, tanques de jarabe y tanques de jarabe terminado, se utiliza a una concentración de 8 a 15 ml/l durante 20 minutos a temperatura ambiente. Drenar y enjuagar completamente con agua fría. Seguir con una solución desinfectante.

2.1.2.2. Propiedades

Apariencia líquida, utilizado para la limpieza de tanques de fermentación y almacenamiento de tanques cilindro cónicos, circuitos de C.I.P., tubería y mangueras, usar a una concentración de 10 a 20 ml/l durante 45 a 60 minutos a temperatura ambiente.

2.2.2. Cloro

Es un desinfectante líquido a base de hipoclorito de sodio.

2.2.2.1. Uso y dosificación

Para equipo procesador de lácteos y alimentos limpie las superficies completamente con un detergente apropiado y enjuague con agua. Se debe desinfectar la tubería, por medio de enjuague con 100 ppm de cloro disponible para todas las superficies no porosas. Para las superficies porosas, usar cloro disponible a 800 ppm. Utilizar técnicas de inmersión, remojo o aspersion según sea lo apropiado para el equipo.

Humedecer las superficies completamente. Todas las superficies deben quedar expuestas por un período no menor de 2 minutos. Las superficies en contacto con los alimentos y el equipo tratado con solución desinfectante que exceda las 200 ppm de cloro disponible, deben enjaguarse con agua pura antes de volverse a utilizar.

2.2.3. Desinfectante

Desinfectante de amplio espectro, recomendado para desinfección de superficies y equipos prelavados en industrias lecheras, cerveceras, vinícolas y cualquier planta de proceso de alimentos y bebidas. Se recomienda usar en el agua de las frutas, verduras y hortalizas procesadas, tanto cuando se trabaja por lote o cuando se producen forma continua.

2.2.3.1. Uso y dosificación

Desinfectante perácido dual, contiene ácidosperoxiacético y peroxi octanoico. Esta combinación deperácidos permite emplear en concentraciones mucho menores que los desinfectantes elaborados únicamente con ácido peracético. La formulación, le permite ser empleado a concentraciones típicas del 30 a 50 % menores que cualquier otro desinfectante base parecido.

La temperatura de uso de la solución puede ser de 4°C en adelante, no se recomiendan temperaturas mayores de 48°C. La solución se aplica con excelentes resultados mediante sistemas espumadores, por inmersión, recirculación y aspersion.

2.3. Presión, velocidades y tiempos en tuberías

La medida de las tuberías de producto, esta usualmente determinada por la presión de las mismas. Para el C.I.P., el tamaño de la tubería está determinado por la necesidad de una velocidad de fluido suficientemente alta para irrigar la tubería.

Como regla general, el mínimo aceptado de velocidad es de tres pies por segundo, para asegurar que todo el aire dentro de la tubería es desplazado, especialmente en tuberías colocadas horizontalmente y en las partes altas del circuito. Partes de la tubería en donde se ubican manómetros, termómetros y equipo de medición en sí, requieren velocidades más altas, normalmente de cinco pies por segundo, debido a que la fuerza mecánica originada por la velocidad del fluido nos asegura la efectividad del proceso.

Debemos tener cuidado cuando en el circuito de C.I.P. existen diferentes diámetros de tubería, cuando esta situación ocurre, el flujo de la solución limpiadora debe ser seleccionado para proveer la mínima velocidad en la tubería más ancha.

Esto para evitar problemas debido a altas presiones en tuberías más pequeñas, la pérdida hidráulica total a través del circuito debe ser calculado en función de la bomba de recirculación.

2.4. Consideraciones en el diseño

El paso inicial para diseñar un sistema C.I.P., es una evaluación de la línea de alimentación y de retorno de la tubería desde el tanque.

Verificar el desnivel de las tuberías debido a que esto podría ocasionar una mala limpieza de las mismas.

El tamaño de la tubería de retorno es muy importante debido a que, en algunos pasos es necesario drenar tan rápido como sea posible.

Es esencial que en la línea de alimentación del C.I.P. se calculen las pérdidas, para tener el flujo y velocidad requeridos dentro del sistema al ponerse en marcha.

3. ANÁLISIS TÉCNICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA C.I.P

3.1. Autómatas programables y variadores de frecuencia

3.1.1. Autómatas programables

Los PLC (*Programmable Logic Controller* en sus siglas en inglés) o Controlador de lógica programable, son dispositivos electrónicos muy usados en Automatización Industrial.

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

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

Existen varios lenguajes de programación, tradicionalmente los más utilizados son el diagrama de escalera (lenguaje *ladder*), preferido por los electricistas, lista de instrucciones y programación por estados, aunque se han incorporado lenguajes más intuitivos que permiten implementar algoritmos complejos mediante simples diagramas de flujo más fáciles de interpretar y mantener.

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

3.1.1.1. Señales analógicas y digitales

Las señales digitales o discretas como los interruptores, son simplemente una señal de *On/Off* (1 ó 0, verdadero o falso, respectivamente). Los botones e interruptores son ejemplos de dispositivos que proporcionan una señal discreta. Las señales discretas son enviadas usando la tensión o la intensidad, donde un rango específico corresponderá al *On* y otro rango al *Off*. Un PLC puede utilizar 24V de voltaje continuo en la E/S donde valores superiores a 22V representan un *On*, y valores inferiores a 2V representan *Off*.

Las señales analógicas son como controles de volúmenes, con un rango de valores entre 0 y el tope de escala. Esto es normalmente interpretado con valores enteros por el PLC, con varios rangos de precisión dependiendo del dispositivo o del número de bits disponibles para almacenar los datos. Presión, temperatura, flujo, y peso son normalmente representados por señales analógicas.

Las señales analógicas pueden usar tensión o intensidad con una magnitud proporcional al valor de la señal que procesamos. Por ejemplo, una entrada de 4-20 mA o 0-10 V será convertida en enteros comprendidos entre 0-32767.

3.1.1.2. Capacidades E/S en los PLC modulares

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

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

Los PLC usados en grandes sistemas de E/S tienen comunicaciones punto a punto entre los procesadores. Esto permite separar partes de un proceso complejo para tener controles individuales mientras se permita a los subsistemas comunicarse mediante links. Estos *links* son usados a menudo por dispositivos de Interfaz de usuario (HMI) como teclados o estaciones de trabajo basados en ordenadores personales.

3.1.1.3. Programación

Los primeros PLC, en la primera mitad de los 80, eran programados usando sistemas de programación propietarios o terminales de programación especializados, que a menudo tenían teclas de funciones dedicadas que representaban los elementos lógicos de los programas de PLC.

Los programas eran guardados en cintas. Más recientemente, los programas PLC son escritos en aplicaciones especiales en un ordenador, y luego son descargados directamente mediante un cable o una red al PLC. Los PLC viejos usan una memoria no volátil (*magnetic core memory*) pero ahora los programas son guardados en una RAM con batería propia o en otros sistemas de memoria no volátil como las memoria *flash*.

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

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

La estructura básica de cualquier autómata programable es:

- Fuente de alimentación: convierte la tensión de la red, 110 ó 220V ac a baja tensión de cc (24V por ejemplo) que es la que se utiliza como tensión de trabajo en los circuitos electrónicos que forma el autómata.
- CPU: la Unidad Central de Procesos es el auténtico cerebro del sistema. Es el encargado de recibir órdenes del operario a través de la consola de programación y el módulo de entradas.
- Módulo de entradas: aquí se unen eléctricamente los captadores (interruptores, finales de carrera). La información que recibe la envía al CPU para ser procesada según la programación. Hay 2 tipos de captadores conectables al módulo de entradas: los pasivos y los activos.
- Módulo de salida: es el encargado de activar y desactivar los actuadores (bobinas de contactores, y pequeños motores). La información enviada por las entradas a la CPU, cuando esta procesada se envía al módulo de salidas para que estas sean activadas (también los actuadores que están conectados a ellas). Hay 3 módulos de salidas según el proceso a controlar por el autómata: relés, triacs y transistores.
- Terminal de programación: la terminal o consola de programación es el que permite comunicar al operario con el sistema. Su función es la verificación de la programación y la información del funcionamiento de los procesos.
- Periféricos: ellos no intervienen directamente en el funcionamiento del autómata pero si que facilitan la labor del operario.

3.1.1.4. Comunicación

Las formas como los PLC intercambian datos con otros dispositivos son muy variadas. Típicamente un PLC puede tener integrado puertos de comunicaciones seriales que pueden cumplir con distintos estándares de acuerdo al fabricante. Estos puertos pueden ser de los siguientes tipos:

- RS-232
- RS-485
- RS-422
- *Ethernet*

Sobre estos tipos de puertos de hardware las comunicaciones se establecen utilizando algún tipo de protocolo o lenguaje de comunicaciones. En esencia un protocolo de comunicaciones define la manera como los datos son empaquetados para su transmisión y como son codificados. De estos protocolos los más conocidos son:

- Modbus
- Bus CAN
- Profibus
- Devicenet
- Controlnet
- *Ethernet I/P*

Muchos fabricantes además ofrecen distintas maneras de comunicar sus PLC con el mundo exterior mediante esquemas de *hardware* y *software* protegidos por patentes y leyes de derecho de autor.

3.1.2. Variadores de frecuencia

Un variador de frecuencia (siglas VFD, del inglés: Variable Frequency Drive o bien AFD Adjustable Frequency Drive) es un sistema para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna (AC) por medio del control de la frecuencia de alimentación suministrada al motor.

Los variadores de frecuencia son también conocidos como drivers de frecuencia ajustable (AFD), drivers de CA, microdrivers o inversores.

3.1.2.1 Principio de funcionamiento

Los dispositivos variadores de frecuencia operan bajo el principio de que la velocidad síncrona de un motor de corriente alterna (CA) está determinada por la frecuencia de CA suministrada y el número de polos, de acuerdo con la relación:

$$RPM = \frac{120 \times f}{p}$$

Donde:

RPM = Revoluciones por minuto.

f = Frecuencia de suministro CA (Hercio).

p = Número de polos (adimensional).

Las cantidades de polos más frecuentemente utilizadas son 2, 4, 6 y 8 polos que, siguiendo la ecuación citada resultarían en 3 000 RPM, 1 500 RPM, 1 000 RPM y 750 RPM respectivamente.

3.1.2.2. Motor del VFD

El motor usado en un sistema VFD es normalmente un motor de inducción trifásico. Algunos tipos de motores monofásicos pueden ser igualmente usados, pero los motores de tres fases son normalmente preferidos.

Varios tipos de motores síncronos ofrecen ventajas en algunas situaciones, pero los motores de inducción son más apropiados para la mayoría de propósitos y son generalmente la elección más económica. Motores diseñados para trabajar a velocidad fija son usados habitualmente, pero la mejora de los diseños de motores estándar aumenta la fiabilidad y consigue mejor rendimiento del VFD (variador de frecuencia).

3.1.2.3. Controlador del VFD

El controlador de dispositivo de variación de frecuencia está formado por dispositivos de conversión electrónicos de estado sólido.

El diseño habitual primero convierte la energía de entrada CA en CC usando un puente rectificador. La energía intermedia CC es convertida en una señal quasi-senoidal de CA usando un circuito inversor conmutado. El rectificador es usualmente un puente trifásico de diodos, pero también se usan rectificadores controlados.

Debido a que la energía es convertida en continua, muchas unidades aceptan entradas tanto monofásicas como trifásicas (actuando como un convertidor de fase, un variador de velocidad).

Tan pronto como aparecieron los interruptores semiconductores fueron introducidos en los VFD, ellos han sido aplicados para a los inversores modernos. Actualmente, los transistores bipolares de puerta aislada (IGBTs) son usados en la mayoría de circuitos inversores.

Las características del motor CA requieren la variación proporcional del voltaje cada vez que la frecuencia es variada. Por ejemplo, si un motor está diseñado para trabajar a 460 voltios a 60 Hz, el voltaje aplicado debe reducirse a 230 volts cuando la frecuencia es reducida a 30 Hz. Así la relación voltios/hercios deben ser regulados en un valor constante ($460/60 = 7,67$ V/Hz en este caso). Para un funcionamiento óptimo, otros ajustes de voltaje son necesarios, pero nominalmente la constante es V/Hz es la regla general.

El método más novedoso y extendido en nuevas aplicaciones es el control de voltaje por PWM.

3.2. Bombas y válvulas electrónicas

Siempre que tratemos temas como procesos químicos, y de cualquier circulación de fluidos estamos, de alguna manera entrando en el tema de bombas.

El funcionamiento en sí de la bomba será el de un convertidor de energía, o sea, transformara la energía mecánica en energía cinética, generando presión y velocidad en el fluido.

3.2.1. Bombas

Las bombas se clasifican en tres tipos principales:

- De émbolo alternativo
- De émbolo rotativo
- Rotodinámicas

Las bombas de émbolo alternativo y rotativo, operan sobre el principio de desplazamiento positivo, es decir, que bombean una determinada cantidad de fluido (sin tener en cuenta las fugas independientemente de la altura de bombeo). El tercer tipo debe su nombre a un elemento rotativo, llamado rodete, que comunica velocidad al líquido y genera presión. La carcasa exterior, el eje y el motor completan la unidad de bombeo. En su forma usual, la bomba de émbolo alternativo consiste en un pistón que tiene un movimiento de vaivén dentro de un cilindro.

Un adecuado juego de válvulas permite que el líquido sea aspirado en una embolada y lanzado a la turbina de impulsión en la siguiente. En consecuencia, el caudal será intermitente a menos que se instalen recipientes de aire o un número suficiente de cilindros para uniformar el flujo.

Aunque las bombas de émbolo alternativo han sido separadas en la mayoría de los campos de aplicación por las bombas rotodinámicas, mucho más adaptables, todavía se emplean ventajosamente en muchas operaciones industriales especiales. Las bombas de émbolo rotativo generan presión por medio de engranajes o rotores muy ajustados que impulsan periféricamente al líquido dentro de la carcasa cerrada.

El caudal es uniforme y no hay válvulas. Las variables posibles son muy numerosas. La bomba rotodinámica es capaz de satisfacer la mayoría de las necesidades de la ingeniería y su uso está muy extendido. Su campo de

utilización abarca desde abastecimientos públicos de agua, drenajes y regadíos, hasta transporte.

A continuación algunos tipos de bombas:

- Centrifugas

Son el tipo más corriente de bombas rotodinámicas, y se denomina así porque la cota de presión que crean es ampliamente atribuible a la acción centrífuga.

Pueden estar proyectadas para impulsar caudales tan pequeños como 1 gal/min., o tan grandes como 4.000.000 gal/min. El rendimiento de las de mayor tamaño puede llegar al 90%.

El rodete consiste en cierto número de álabes curvados en dirección contraria al movimiento y colocados entre dos discos metálicos. El agua entra por el centro u ojo del rodete y es arrastrada por los álabes y lanzada en dirección radial. Esta aceleración produce un apreciable aumento de energía de presión y cinética. A la salida, el movimiento del fluido tiene componentes radial y transversal.

- Múltiples

Son del tipo múltiple, con montaje vertical y diseñado especialmente para la elevación del agua en perforaciones angostas, pozos profundos o pozos de drenaje. Resultan adecuadas para perforaciones de un diámetro tan pequeño como 6 pulg., y con mayores diámetros son capaces de elevar cantidades de

agua superiores a un millón de galones por hora desde profundidades de hasta 1 000 pies.

Normalmente se diseñan los rodetes de forma que lancen el agua en dirección radial-axial, con objeto de reducir a un mínimo el diámetro de perforación necesario para su empleo. La unidad de bombeo consiste en una tubería de aspiración y una bomba situada bajo el nivel del agua y sostenida por la tubería de impulsión y el árbol motor. Dicho árbol ocupa el centro de la tubería y está conectado en la superficie al equipo motor.

Cuando la cantidad de agua que se ha de elevar es pequeña o moderada, a veces es conveniente y económico colocar la unidad completa de bombeo bajo la superficie del agua. Así se evita la gran longitud del árbol, pero en cambio se tiene la desventaja de la relativa inaccesibilidad del motor a efectos de su entretenimiento.

- De columna

Este tipo de bomba es muy adecuado cuando hay que elevar un gran caudal a pequeña altura. Por esto, sus principales campos de empleo son los regadíos, el drenaje de terrenos y la manipulación de aguas residuales. El rendimiento de esta bomba es comparable al de la centrífuga. Por su mayor velocidad relativa permite que la unidad motriz y la de bombeo sean más pequeñas y por tanto más baratas. La altura máxima de funcionamiento oscila entre 30 y 40 pies.

Sin embargo, es posible conseguir mayores cotas mediante 2 ó 3 escalonamientos, pero este procedimiento raramente resulta económico. Para grandes bombas se adopta generalmente el montaje vertical, pasando el eje por

el centro de la tubería de salida El rodete es de tipo abierto, sin tapas, y su forma es análoga a la de una hélice naval. El agua entra axialmente y los álabes le imprimen una componente rotacional, con lo que el camino por cada partícula es una hélice circular.

La cota se genera por la acción impulsora o de elevación de los álabes, sin que intervenga el efecto centrífugo.

La misión de los álabes fijos divergentes o álabes directores es volver a dirigir el flujo en dirección axial y transformar la cota cinemática en cota de presión. Para evitar la creación de condiciones favorables al destructivo fenómeno de cavitación, la bomba de flujo axial se ha de proyectar para poca altura de aspiración. De hecho, es preferible adoptar en la que el rodete permanezca siempre sumergido, ya que así la bomba estará siempre cebada y lista para comenzar a funcionar.

El objeto del sifón es evitar el riesgo de que se averíe la válvula de retención, que de otro modo tendría lugar una inversión del flujo en la tubería, con lo que la bomba funcionaría como una turbina. La acción se interrumpe mediante una válvula de mariposa. Esta válvula está en ligero equilibrio hacia la posición de abierta y en el instante en que cesa el bombeo, la válvula se abre y entra el aire, con lo que se evita la inversión del flujo.

La estación de bombeo puede automatizarse por medio de electrodos inmersos en el pozo de aspiración para controlar el funcionamiento de la bomba.

3.2.2. Válvula de bola

Conocida también como de esfera, es un mecanismo que sirve para regular el flujo de un fluido canalizado y se caracteriza porque el mecanismo regulador situado en el interior tiene forma de esfera perforada.

Se abre mediante el giro del eje unido a la esfera o bola perforada, de tal forma que permite el paso del fluido cuando está alineada la perforación con la entrada y la salida de la válvula.

Cuando la válvula está cerrada, el agujero estará perpendicular a la entrada y a la salida. La posición de la manija de actuación indica el estado de la válvula (abierta o cerrada).

Este tipo de válvulas no ofrecen una regulación tan precisa como la de una válvula de globo al ser son de $\frac{1}{4}$ de vuelta. Su ventaja es que la bola perforada permite la circulación directa en la posición abierta y corta el paso cuando se gira la bola 90° y cierra el conducto.

Las válvulas de bola manuales pueden ser cerradas rápidamente, lo que puede producir un golpe de ariete. Por ello y para evitar la acción humana pueden estar equipadas con un actuador ya sea neumático, hidráulico o motorizado.

Atendiendo al número de conexiones que posee la válvula, puede ser de dos o tres vías.

3.3. Protocolos de comunicación industrial (sugeridos en la implementación de un sistema C.I.P)

3.3.1. Profibus

Es un estándar de comunicaciones para bus de campo. Deriva de las palabras PROcess FieId BUS.

3.3.1.1. Origen

Fue un proyecto desarrollado entre los años 1987-1990 por las empresas alemanas Bosch, Klöckner Möller y Siemens, y por otras como ABB, AEG, Honeywell, Landis & Gyr, Phoenix Contact, Rheinmetall, RMP, Sauter-cumulus y Schleicher.

En 1989 la norma alemana DIN19245 adoptó el estándar Profibus, partes 1 y 2 (la parte 3, Profibus-DP no fue definida hasta 1993). Profibus fue confirmada como norma europea en 1996 como EN50170.

3.3.1.2. Versiones

Profibus tiene tres versiones o variantes (de más simple a más compleja):

- Profibus DP (Periferia Descentralizada; Decentralised Peripherals), desarrollada en 1993, es la más extendida. Está orientada a control a nivel sensor/actuador.

- Profibus FMS, diseñada para control a nivel de célula. Si bien fue la primera versión de Profibus, es una versión prácticamente obsoleta.
- Profibus PA, es la solución integrada para control a nivel de proceso.

3.3.1.3. Conexiones físicas

Profibus tiene, conforme al estándar, cinco diferentes tecnologías de transmisión, que son identificadas como:

- RS-485. Utiliza un par de cobre trenzado apantallado, y permite velocidades entre 9,6 kbps y 12 Mbps. Hasta 32 estaciones, o más si se utilizan repetidores.
- MBP. Manchester Coding y Bus Powered, es transmisión sincrónica con una velocidad fija de 31,25 Kbps.
- RS-485 IS. Las versiones IS son intrínsecamente seguras, utilizadas en zonas peligrosas (explosivas).
- Fibra óptica. Incluye versiones de fibra de vidrio multimodo y monomodo, fibra plástica y fibra HCS.

3.3.1.4. Comunicaciones

Desde el punto de vista del control de las comunicaciones, el protocolo Profibus es maestro periférico, pero permite:

- Aplicaciones mono maestro. Un sólo maestro está activo en el bus. Los demás dispositivos son periféricos. Este esquema es el que permite los ciclos de lectura más cortos.
- Aplicaciones multimaestro. Permite más de un maestro. Pueden ser aplicaciones de sistemas independientes, en que cada maestro tenga sus propios esclavos.
- DPM1. DP *Master Class 1*. Es un controlador central que intercambia información con sus esclavos en forma cíclica. Típicamente un PLC.
- DPM2. DP *Master Class 2*. Son estaciones de operación, configuración o ingeniería. Tienen acceso activo al bus, pero su conexión no es necesariamente permanente.

Junto con las especificaciones de otros buses de campo se recoge en las normas internacionales IEC61158 e IEC61784.

Características

- Velocidades de transmisión: 9,6, 19,2, 93,75, 187,5, 500, 1 500, 3 000, 6 000 y 12 000 Kbps.
- Número máximo de estaciones: 127 (32 sin utilizar repetidores).
- Distancias máximas alcanzables (cable de 0,22 mm de diámetro): hasta 93,75 KBaudios: 1200 metros 187,5 KBaudios: 600 metros 500 KBaudios: 200 metros.

- Estaciones pueden ser activas (maestros) o pasivas (esclavos).
- Conexiones de tipo bidireccionales, multicast o broadcast.

3.3.1.5. Detalles sobre profibus DP

Puesto que Profibus DP es la versión más extendida, conviene detallar más a fondo sus características.

Está actualmente disponible en tres versiones:

- DP-V0. Provee las funcionalidades básicas incluyendo transferencia cíclica de datos, diagnóstico de estaciones, módulos y canales, y soporte de interrupciones.
- DP-V1. Agrega comunicación acíclica de datos, orientada a transferencia de parámetros, operación y visualización.
- DP-V2. Permite comunicaciones entre periféricos. Está orientada a tecnología de drives, permitiendo alta velocidad para sincronización entre ejes en aplicaciones complejas .

3.3.2. Modbus

Modbus es un protocolo de comunicaciones situado en el nivel 7 del Modelo OSI, basado en la arquitectura maestro/esclavo o cliente/servidor, diseñado en 1979 por *Modicon* para su gama de controladores lógicos programables (PLCs). Convertido en un protocolo de comunicaciones estándar de facto en la industria es el que goza de mayor disponibilidad para la conexión

de dispositivos electrónicos industriales. Las razones por las cuales el uso de Modbus es superior a otros protocolos de comunicaciones son:

- Público.
- Implementación es fácil y requiere poco desarrollo.
- Manejo de bloques de datos sin suponer restricciones.

Modbus permite el control de una red de dispositivos, por ejemplo un sistema de medida de temperatura y humedad, y comunicar los resultados a un ordenador.

Modbus también se usa para la conexión de un ordenador de supervisión con una unidad remota (RTU) en sistemas de supervisión adquisición de datos (SCADA). Existen versiones del protocolo Modbus para puerto serie y *Ethernet* (Modbus/TCP).

Existen dos variantes, con diferentes representaciones numéricas de los datos y detalles del protocolo ligeramente desiguales. Modbus RTU es una representación binaria compacta de los datos. Modbus ASCII es una representación legible del protocolo pero menos eficiente. Ambas implementaciones del protocolo son serie. El formato RTU finaliza la trama con un suma de control de redundancia cíclica (CRC), mientras que el formato ASCII utiliza una suma de control de redundancia longitudinal (LRC). La versión Modbus/TCP es muy semejante al formato RTU, pero estableciendo la transmisión mediante paquetes TCP/IP.

3.4. Propuesta técnica de un sistema C.I.P.

Para la implementación de un sistema C.I.P., en una línea de producción en donde contamos con un proporcionador, una llenadora de botellas, tuberías donde circula producto, etc. Necesitamos contar con algunos elementos tales como PLC, variadores de frecuencia, bombas centrífugas, tanques, cables de comunicación, cables de alimentación, programación del PLC, borneras, cables de control, panel de control de C.I.P., botoneras, contactores, guardamotores, tubería eléctrica, módulos de comunicación, sensores, tarjetas de comunicación especializadas para los variadores de frecuencia, mano de obra, etc.

A continuación se detalla ítems necesarios para un sistema C.I.P. en una línea de producción de bebidas carbonatadas.

3.4.1. Componentes eléctricos/electrónicos necesarios para la implementación del sistema

Tabla I. Componentes eléctrico/electrónicos

Cantidad	U/M	Descripción
1	Unidad	PLC
1	Unidad	Fuente de Poder
1	Unidad	Variador de Frecuencia
1	Unidad	Variador de Frecuencia
1	Unidad	Bomba Centrífuga
1	Unidad	Bomba Centrífuga
200	Metros	Cable TSJ 4X8
200	Metros	Cable TSJ 4X14
4	Unidad	Contactores

Continuación tabla I...

1	Unidad	Módulo Entradas Digitales
1	Unidad	Módulo Entradas Analógicas
3	Unidad	Tarjetas de Comunicación PROFIBUS
1	Unidad	Pantalla de Visualización
200	Metros	Cable Comunicación PROFIBUS
4	Unidad	Guardamotores
1	Unidad	Panel de Control
1	Unidad	Paro de Emergencia
10	Unidad	Pulsadores N/O
1	Unidad	Torreta de Alarmas
60	Metros	Canaleta Eléctrica

Fuente: elaboración propia.

Adicional a los ítems arriba mencionados debemos agregar la mano de obra para la instalación y la mano de obra para programar e integrar los equipos electrónicos.

3.4.2. Detalles técnicos para la implementación de un sistema C.I.P. automatizado

Para la implementación de un sistema automatizado C.I.P, es necesario tomar en cuenta varios detalles y tener claro algunos conceptos para lo cual se presenta un diagrama en donde se puede tener una noción más clara acerca de la integración de todo el sistema, en donde contaríamos con dos tanques, uno para la solución que en determinado paso se circulará por el sistema y otro para la disolución de químicos.

El tanque de químicos deberá ser de aproximadamente 10 galones y la función es disolver el químico para luego ser bombeado al tanque mayor cuya

capacidad sería de 1 500 galones para proceder en determinado paso del C.I.P. en donde sea necesaria alguna de las soluciones.

Para posteriormente recircular la solución mediante la bomba de C.I.P. a todo el sistema, a una temperatura ambiente (30°) y a una velocidad de 5 pies/segundo, la bomba deberá poseer un variador de frecuencia el cual se encargará de regular la presión de agua en la tubería mediante la regulación de velocidad de la misma, así como un sensor de presión para retroalimentar al sistema y de esa forma asegurar que la presión en la entrada de la tubería a la llenadora es de 80 psi, la cual es necesaria según el fabricante de dicha llenadora para asegurar la correcta limpieza de la misma.

El sistema deberá ser automático y controlar la presión del sistema, y según el requerimiento del mismo controlar la bomba de recirculación.

A su vez el sistema deberá contar con las protecciones eléctricas necesarias para cada uno de los variadores de frecuencia, el PLC, y fuente de poder contra cualquier eventualidad.

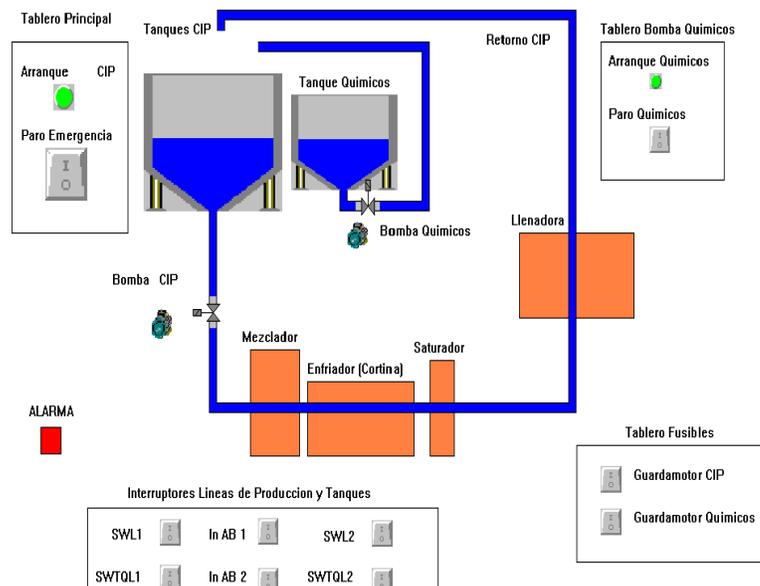
El sistema deberá contar con un paro de emergencia general y una alarma para fallas tales como falla en el variador de frecuencia, caídas de presión en la tubería ocasionadas por una posible fuga.

En sí el sistema funcionaría idealmente con una persona que esté haciendo cambios de solución en el tanque de químicos y confirmando en el panel principal cuando el cambio de solución esté realizado y en un sistema automatizado como el que se propone el tiempo duración de un C.I.P. de 7 pasos será de aproximadamente 6 horas, así como las soluciones utilizadas

serán medidas en base a la concentración requerida en el tanque de mezcla lo cual es un ahorro en soluciones utilizadas en el proceso evitando su desperdicio al aplicarse manualmente.

A diferencia de la limpieza manual que se realiza en 14 horas el sistema se hace más eficiente debido a la eliminación del error humano al no poder recordar las partes de la máquina que ya fueron limpiadas, o aplicar incorrectamente alguna de las soluciones o en una concentración no deseada lo cual pone en riesgo la operación de la línea. A continuación se presenta un diagrama en donde se puede ver claramente la idea principal anteriormente planteada, los dos tanques, paneles de control, etc.

Figura 1. Diagrama de sistema C.I.P.



Fuente: elaboración propia.

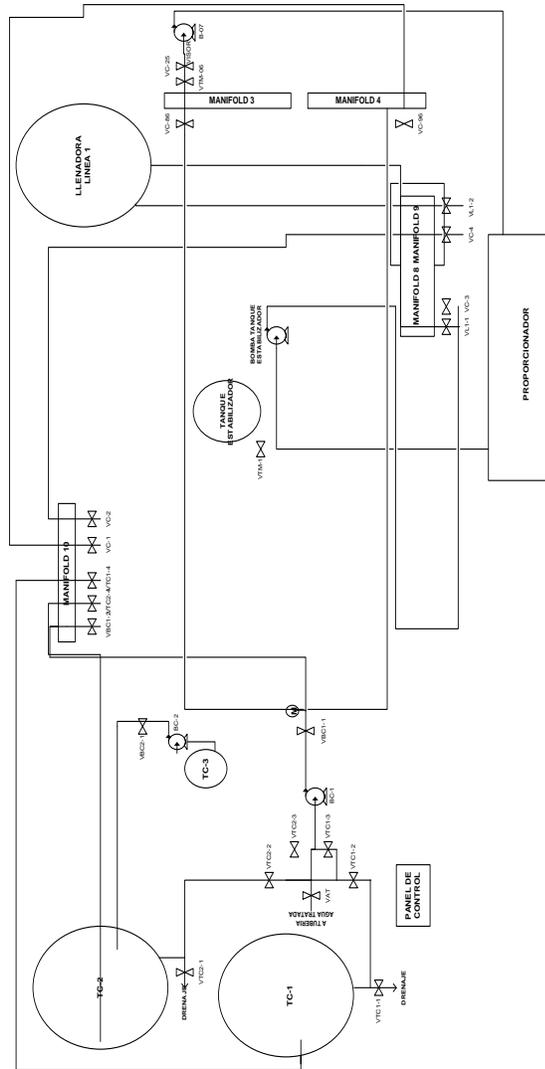
3.4.3. Propuesta de un diagrama de proceso para un sistema C.I.P. en una línea de producción de bebidas

El proceso que se muestra a continuación, muestra el diagrama esquemático de las tuberías de un sistema C.I.P., en donde saliendo de los tanques de mezcla, se dirige la tubería hacia la llenadora y proporcionador, la cual a su vez retorna por otra tubería a los tanques, dicha acción es realizada por la bomba principal de recirculación de mezcla, la cual se encarga de hacer que el producto circule adecuadamente por toda la tubería del circuito como se definió anteriormente.

A lo largo de la tubería se encuentran diversos tipos de sensores, como los de presión, que se encargan de hacer un control de lazo cerrado para la retroalimentación de los variadores de frecuencia, configurados de tal forma que en diversos puntos del circuito deben mantenerse determinadas presiones como por ejemplo en la entrada de la máquina llenadora en donde, como hemos visto se requiere una presión de 80 psi para asegurarnos la correcta limpieza de la misma, a la vez se encuentran sensores inductivos los cuales nos indicarán la correcta colocación de los diversos codos de interconexión del circuito de tuberías.

Todo esto hace que la operación del sistema C.I.P. sea más eficiente evitando así errores de tipo humano tales como equivocaciones en la conexión de los diversos tipos de tuberías y la dosificación de las cantidades de químicos utilizados en el proceso para lo cual se cuenta con sensores de nivel en los tanques que indican que el nivel de agua es suficiente, cierran la válvula de entrada de agua y en la pantalla principal le indican al operador que químico debe agregar en ese momento. A continuación un diagrama que muestra en planta una distribución de tuberías de CIP, hacia las diversas partes del circuito.

Figura 2. Diagrama de proceso de un sistema de limpieza en sitio C.I.P.

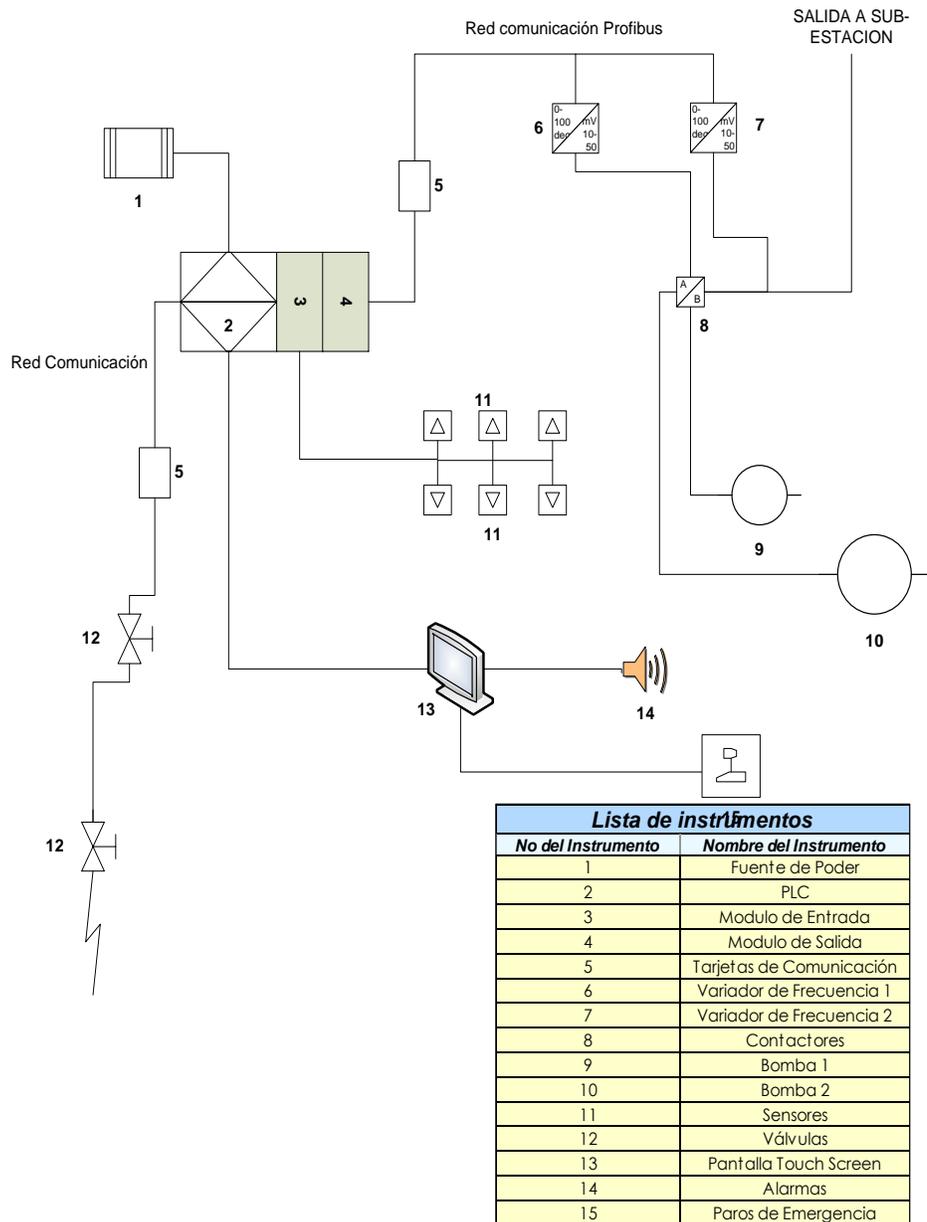


Fuente: elaboración propia.

3.4.4. Propuesta de diagrama de bloques para la conexión de elementos eléctrico/electrónicos utilizados en la automatización de un sistema C.I.P.

A continuación se muestra un diagrama de bloques donde se puede apreciar la forma de conexión de los elementos eléctrico/electrónicos utilizados en la automatización de un sistema C.I.P., podemos ver los diferentes tipos de elementos utilizados tanto en la parte de control como en la parte de potencia del sistema, las redes de comunicación desde el PLC hacia los variadores de frecuencia y las válvulas electrónicas, así como la retroalimentación del sistema que la realizan los diversos sensores ubicados en diferentes partes del proceso.

Figura 3. Diagrama de bloques de un sistema de limpieza en sitio C.I.P.



Fuente: elaboración propia.

3.4.5. Propuesta de programación de un PLC para la implementación de un sistema C.I.P.

A continuación se presenta una propuesta para la programación de un PLC utilizando los elementos arriba descritos, en donde se integra la parte de comunicación y retroalimentación del sistema para lograr el funcionamiento adecuado del mismo, asegurando así una correcta limpieza al momento de automatizar el sistema.

El programa hace referencia al siguiente listado de entradas y salidas del PLC como se indica:

Tabla II. **Tabla de descripción entradas/salidas del PLC**

Entrada/Salida	Descripción
I 0.0	Interruptor en Panel Principal
I 0.1	Sensor No.1
I 0.2	Sensor No.2
I 0.3	Sensor No.3
I 0.4	Sensor No.4
I 0.5	Interruptor Accionamiento Bomba 3HP
I 0.6	Señal Variador de Frecuencia No.1
I 0.7	Señal Variador de Frecuencia No.2
I 0.8	Señal Variador de Frecuencia No.3
I 1.0	Interruptor Arranque Auxiliar
I 1.1	Interruptor Arranque Principal
I 1.3	Interruptor Paro General
I 1.4	Pulsador de Arranque Timer No.1 (Manual)
I 1.5	Pulsador de Arranque Timer No.2 (Manual)
I 1.6	Pulsador de Arranque Timer No.3 (Manual)

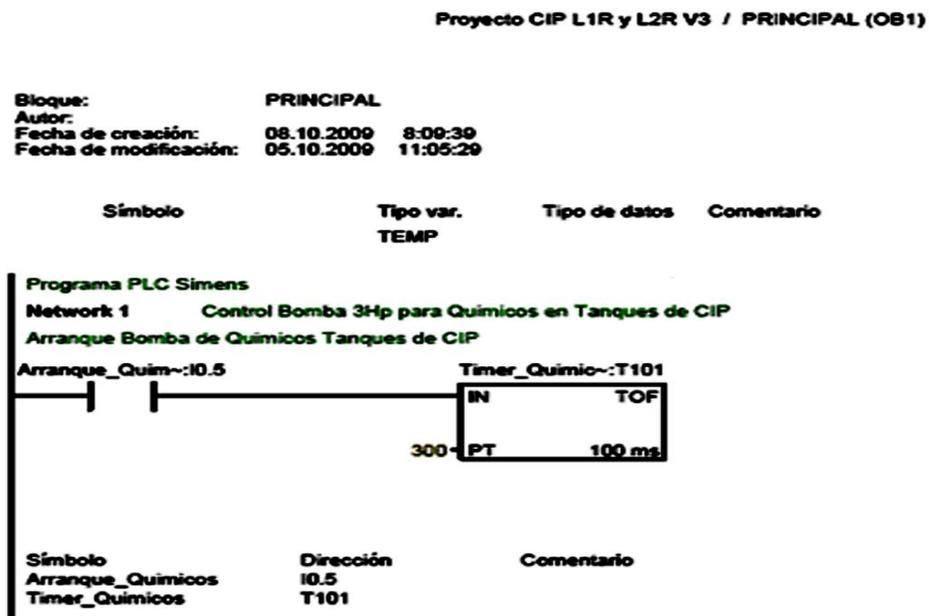
Continuación tabla II...

I 1.7	Pulsador de Arranque Timer No.4 (Manual)
T101	Timer Bomba Químicos
T102	Timer CIP No.1
T37	Retardo Bomba Variador No.1
O 0.0	Contactora Bomba 20HP

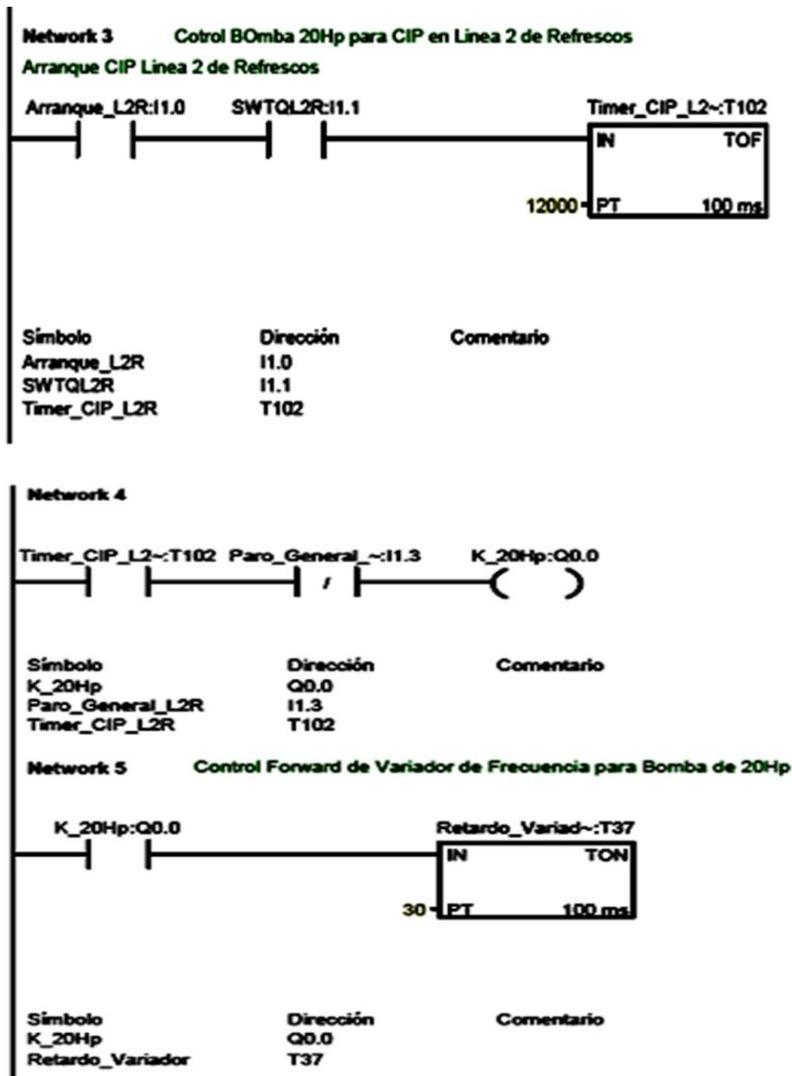
Fuente: elaboración propia.

Planteamiento del programa del PLC para la aplicación:

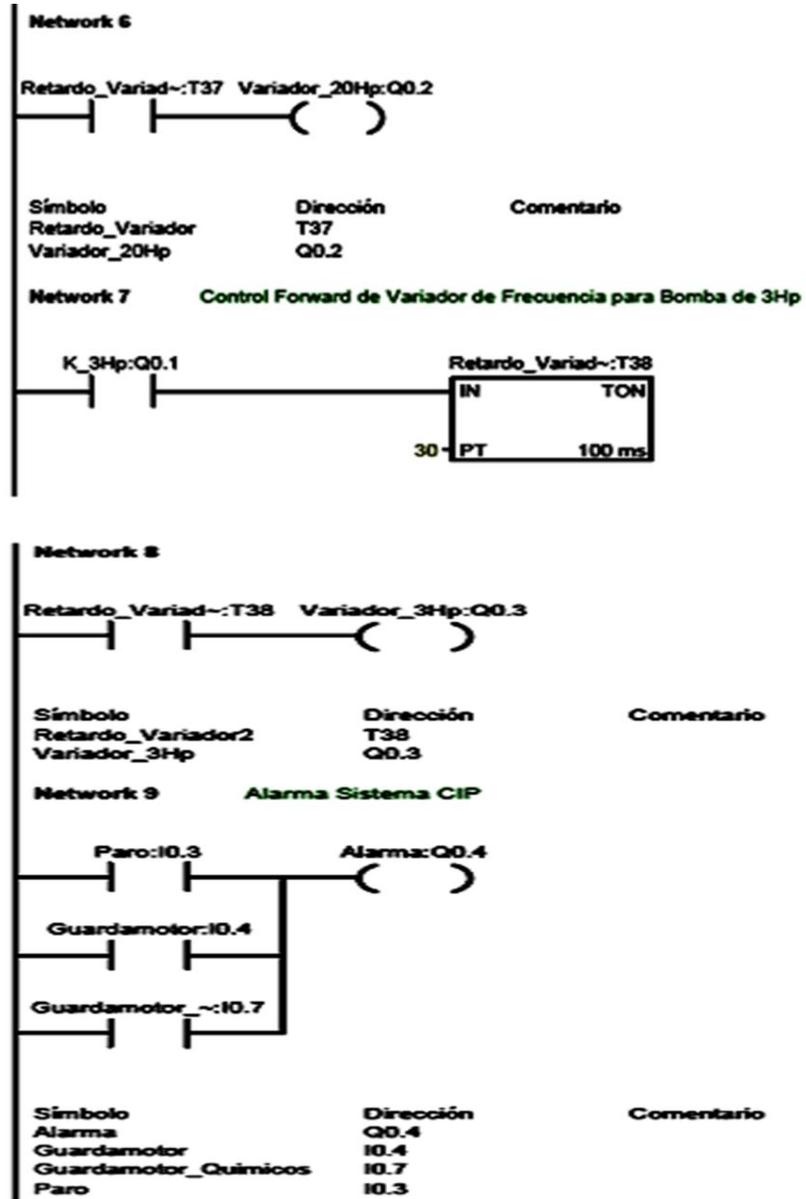
Figura 4. Programa de PLC



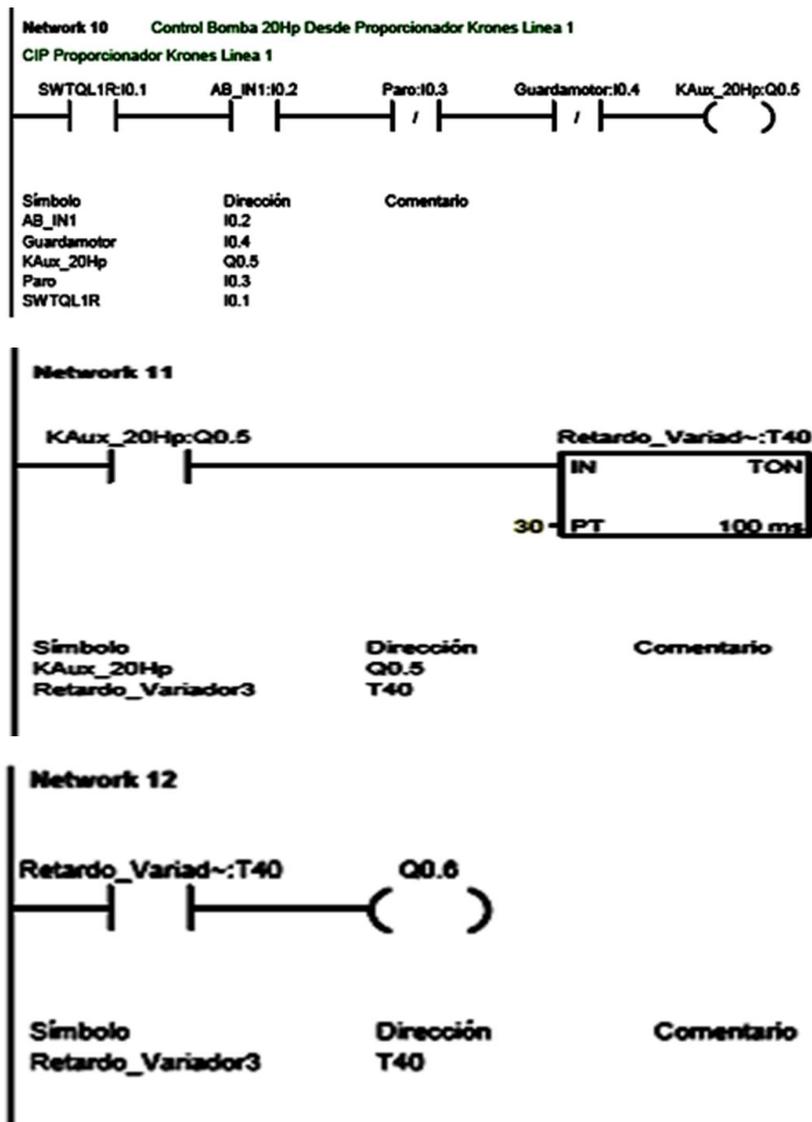
Continuación figura 4...



Continuación figura 4...



Continuación figura 4...



Fuente: elaboración propia.

1. ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA C.I.P.

4.1. Beneficios de la implementación del sistema C.I.P.

En la actualidad se cuenta con un sistema de limpieza en la línea de producción que dura aproximadamente 14 horas y la mano de obra de 3 operadores para poder realizarse, a no tener estandarizados los tiempos para el flujo de agua en las diversas partes del equipo realizándose de forma manual, la mezcla de las diferentes soluciones es ineficiente al realizarse por cantidades pequeñas en cada recipiente para limpieza ya que se desperdicia.

La propuesta de la implementación de un sistema automatizado consiste en que sólo una persona pueda realizar el proceso en tan solo 6 horas, haciendo únicamente una solución en los tanques de mezcla para obtener la concentración deseada en la solución de los diversos químicos utilizados en el proceso y el ahorro de agua al poder medir la cantidad real de agua en el C.I.P. recirculado, sin tener que utilizar varios tanques para el proceso de limpieza.

4.2. Evaluación económica de un proyecto de automatización de un sistema CIP

Los costos por C.I.P. realizado en la línea de producción se detallan a continuación y a su vez se detallan los costos que se tendrían en el proceso al realizar la implementación del sistema.

Para los cálculos del consumo de energía eléctrica para un sistema CIP se tomó como base el contador eléctrico de la línea de refrescos el cual indica que mensualmente se consumen en la línea 103 219 kw con una operación mensual de 290 horas y para realizar los C.I.P. mensuales de la línea se necesitan 14 horas, lo cual hace 4 983kw, de esos únicamente la operación necesita el 40% lo cual viene siendo 1993,46 kw, y tomando el costo unitario de Q.1,48 quetzales por kw, y los datos que a continuación se presentan mediante una investigación en planta podemos obtener los siguientes cálculos:

Tabla IV. **Consumos eléctricos de operaciones**

Consumo Total Mensual Operación 290 hrs.	103219 kw
Consumo Total Mensual C.I.P. 14 hrs.	4983 kw
1.- Porcentaje Operación Actual C.I.P. 40% 14 hrs.	1993 kw
2.-Porcentaje C.I.P. Automatizado Propuesto 40% 6 hrs.	854,3 kw

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Costos para diferentes escenarios del proceso**

1.- COSTO PARA ESCENARIO ACTUAL DE SISTEMA DE LIMPIEZA EN SITIO					
			Costos (Quetzales)		
Descripción	Cantidad	Un	Costo Unitario	Costo por CIP	Total Anual
Mano de Obra	42	hr	Q23,60	Q991,20	Q11 894,40
Químico 1	12	gl	Q184,86	Q2 218,32	Q26 619,84
Químico 2	12	gl	Q86,10	Q1 033,20	Q12 398,40
Químico 3	12	gl	Q23,49	Q281,88	Q3 382,56
Cloro	5	gl	Q22,85	Q114,25	Q1 371,00
Agua	10 000	gl	Q0,01	Q127,72	Q1 532,64
Consumo energía	1993,46	kw	Q1,48	Q2 950,32	Q35 403,85
TOTAL				Q7 716,89	Q92 602,69

Continuación tabla V...

2.- COSTO PARA ESCENARIO PROPUESTO DE SISTEMA DE LIMPIEZA EN SITIO					
			Costos (Quetzales)		
Descripción	Cantidad	Un	Costo Unitario	Costo por CIP	Total Anual
Mano de Obra	6	hr	Q23,60	Q141,60	Q1 699,20
Químico 1	8	gl	Q184,86	Q1 478,88	Q17 746,56
Químico 2	8	gl	Q86,10	Q688,80	Q8 265,60
Químico 3	8	gl	Q23,49	Q187,92	Q2 255,04
Cloro	5	gl	Q22,85	Q114,25	Q1 371,00
Agua	7 000	gl	Q0,01	Q89,40	Q1 072,85
Consumo energía	854,34	kw	Q1,48	Q1 264,42	Q15 173,08
			TOTAL	Q3 965,28	Q47 583,33

Fuente: elaboración propia.

Los costos iniciales del proyecto vienen dados por los materiales utilizados en la implementación del sistema como se detalla en el siguiente cuadro, donde se toma en cuenta la mano de obra para realizar las conexiones eléctricas y cada uno de los ítems necesarios para la puesta en marcha del mismo.

Tabla VI. **Costos de elementos para implementación del sistema**

Cantidad	U/M	Descripción	Costo (Q)
1	Unidad	PLC	Q4 376,75
1	Unidad	Fuente de Poder	Q3 125,00
1	Unidad	Variador de Frecuencia	Q4 126,52
1	Unidad	Variador de Frecuencia	Q8 145,25
1	Unidad	Bomba Centrífuga	Q15 879,65

Continuación tabla VI...

1	Unidad	Bomba Centrífuga	Q27 698,65
200	Metros	Cable TSJ 4X8	Q2 365,89
200	Metros	Cable TSJ 4X14	Q1 985,63
4	Unidad	Contactores	Q1 156,36
1	Unidad	Modulo Entradas Digitales	Q2 168,60
1	Unidad	Modulo Entradas Analógicas	Q1 589,60
3	Unidad	Tarjetas de Comunicación PROFIBUS	Q4 356,60
1	Unidad	Pantalla de Visualización	Q14 568,50
200	Metros	Cable Comunicación PROFIBUS	Q1 986,30
4	Unidad	Guardamotors	Q865,30
1	Unidad	Panel de Control	Q2 658,60
1	Unidad	Paro de Emergencia	Q241,30
10	Unidad	Pulsadores N/O	Q1 256,30
1	Unidad	Torreta de Alarmas	Q2 236,30
60	Metros	Canaleta Eléctrica	Q8 698,30
1	Unidad	Mano obra servicios	Q5 638,60
		TOTAL	Q115 124,00

Fuente: elaboración propia.

A continuación se presenta un análisis de la inversión requerida para la realización del proyecto en donde se toma en cuenta el cálculo estimado anteriormente como inversión inicial de puesta en marcha y se puede observar los costos proyectados en un lapso de 5 años para el sistema y la diferencia de los mismos. Se evalúa el valor actual neto, el cual es el cálculo presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión. El cálculo consiste en descontar al momento actual, todos los flujos de caja futuros del proyecto.

A este valor se le resta el valor inicial, de tal modo que el valor obtenido es el valor actual neto del proyecto. Si el valor actual neto del proyecto es mayor a 0 indica que la inversión produciría ganancias por encima de la rentabilidad exigida y que el proyecto puede aceptarse, por el contrario a un valor actual neto del proyecto menor a 0, lo cual indica que el proyecto produciría ganancias por debajo de la rentabilidad exigida y que por lo tanto no debe aceptarse.

La tasa interna de retorno de una inversión, es la tasa de interés con la cual el valor actual neto es igual a 0, es decir la tasa por medio de la cual se recupera la inversión.

A continuación el análisis para el proyecto del sistema C.I.P. en donde se puede ver que los indicadores son buenos y la rentabilidad tiene una tasa alta, el costo del sistema CIP según los procedimientos actuales se ve proyectado a 5 años con un incremento de insumos y mano de obra de un porcentaje anual de 5% según el comportamiento del mercado de los últimos 3 años.

Se puede observar que se tiene en la gráfica tanto el costo actual como el costo propuesto y la diferencia, la cual nos indica el ahorro en el transcurso de los próximos 5 años donde el proyecto estaría pagado por completo con beneficios de un 31,33%.

Tabla VII. **Tabla con valores de flujo de efectivo del proyecto**

FLUJO DE EFECTIVO DEL PROYECTO						
	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
INVERSIÓN INICIAL	Q115 124,00					
COSTO ACTUAL		Q92 602,69	Q97 232,82	Q102 094,47	Q107 199,19	Q112 559,15
COSTO PROPUESTO		Q47 583,33	Q49 962,49	Q52 460,62	Q55 083,65	Q57 837,83
DIFERENCIA		Q45 019,36	Q47 270,33	Q49 633,85	Q52 115,54	Q54 721,32

FLUJO DE EFECTIVO INCREMENTAL						
	-Q115 124,00	Q45 019,36	Q47 270,33	Q49 633,85	Q52 115,54	Q54 721,32

TREMA	18%
VAN	Q37 985,32
TIR	31,33%

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. Entre los parámetros fundamentales a considerar para la implementación de un sistema de limpieza en sitio están, tiempos de recirculación, temperatura y presión de las soluciones de limpieza a utilizar.
2. Las características de los elementos técnicos más importantes a considerar para la implementación de un sistema automático de limpieza en sitio podemos decir que son la capacidad de las bombas de recirculación y la capacidad de entradas y salidas con las que contamos en el PLC para un mayor control del sistema.
3. En la planificación del sistema se debe tomar en cuenta todos aquellos detalles como los costos de programación del sistema de control los cuales pueden variar, la instalación de los tanques de recirculación en donde se debe de tomar en cuenta el material de los mismos, para soportar la corrosión y oxidación, las capacidades de cada uno de los elementos que se encuentran en el circuito, tales como llenadora y proporcionador así como los límites máximos de operación de cada uno de ellos.
4. El sistema propuesto tal como se plantea y se hace el análisis es un sistema rentable, el cual nos reduce costos de mano de obra, insumos y energía, además de recuperación de inversión inicial en apenas 3 años, en donde a partir de ese tiempo se tendrá un ahorro considerable, así como la eficiencia en el control del proceso.

RECOMENDACIONES

1. Promover el sistema de limpieza en sitio en las demás líneas de producción de la embotelladora, ya que para la industria de bebidas puede ser de gran beneficio económico y para el cliente la calidad del producto debido a la correcta sanitización de las líneas de producción.
2. Analizar el tipo de línea de producción donde se utilizará el sistema de limpieza en sitio ya que de esto dependerán algunos de los elementos a utilizar tales como tuberías, tanques y tipos de químicos a utilizar, así como el tipo de adquisición de datos que se tendrá en la línea de producción.

BIBLIOGRAFÍA

1. BLANK, T. Lealand; TARQUÍN, Anthony J. *Ingeniería económica*. 4^a ed. Bogotá: McGraw-Hill, 1997. 248 p.
2. DALE, A. Seiberling. *Clean in place for biopharmaceutical processes*. 2^a ed. México: Prentice Hall, 2002. 154 p.
3. HYDE, John. *Clean in place technology: principles, practices and validation*. 2^a ed. Bogotá: McGraw-Hill, 1997. 202 p.
4. KRONES, Peter. *Manual de operación de llenadora*. Alemania: Neutrabling Editor, 1996. 305 p.
5. _____. *Manual de operación de proporcionador*. Alemania: Neutrabling Editor, 1996. 407 p.
6. SMITH, J. Scott; HUI, Yui H. *Food processing: principles and applications*. México: McGraw-Hill, 2004. 86 p.
7. TAMIME, Adnan. *Clean in place: dairy, food and beverage operations*. 3^a ed. Bogotá: Prentice Hall, 2005. 175 p.
8. Clean in place (CIP) applications for beverages and food [en línea]. General notes [ref. 24 noviembre 2009]. Disponible en Web: <[http://www.optek.com/Application-Note/General/English/3/Clean-In-Place-\(CIP\)-Applications.asp](http://www.optek.com/Application-Note/General/English/3/Clean-In-Place-(CIP)-Applications.asp)>.

9. Clean in place [en línea]. Clean in place [ref. 23 enero 2010]. Disponible en Web: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Clean-in-place>>.
10. Clean in place [en línea]. Clean in place [ref. 23 enero 2010]. Disponible en Web: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Clean-in-place>>.
11. Clean in place [en línea]. Liquid processing article [ref. 11 noviembre 2009]. Disponible en Web: <<http://www.nicronic.com/gea-liquid-processing/cleaning-in-place-sip.asp>>.
12. Manual for CIP [en línea]. Educational [ref. 12 noviembre 2009]. Disponible en Web: <<http://www.fapc.okstate.edu/files/CIP-ManualV1.pdf>>.

