 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

# **AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE DISTRIBUCION DE LA RED PRINCIPAL DE QUIMICOS PARA LIMPIEZA EN SITIO (CIP) EN LA PLANTA LACTEOS COLANTA**

Larry Esleyther Arbelaez Zapata

Ingeniería Mecatrónica

Adrián Felipe Martínez Pérez

**INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO**

**20 de Febrero de 2019**

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## RESUMEN

---

En el presente documento se pretende evidenciar la acción de mejora realizada en la Cooperativa Colanta, la cual es un requisito en la modalidad de práctica empresarial del Instituto Tecnológico Metropolitano. Las diferentes labores mencionadas anteriormente y realizadas en la Cooperativa estuvieron enfocadas hacia la automatización e instrumentación de procesos industriales.

En la acción de mejora realizada, se modificó la red principal de distribución de químicos existente para el proceso de limpieza en sitio (CIP por sus siglas en inglés), perteneciente a la planta de lácteos Colanta, la cual se ubica en el municipio de San Pedro de los Milagros. Para la modificación se utilizaron algunas herramientas existentes como PLC, sensores de nivel, caudalímetros, interfaz hombre máquina y nuevos sensores de nivel para reemplazar algunos de los equipados en planta ya que el sistema además de una mejora requería de una ampliación en sus tanques satélites para abastecer de químicos el proceso de queso mozzarella que no se encuentra en la red.

El control utilizado para la red de químicos se realizó haciendo uso de un Controlador Lógico Programable (PLC), Compact Logix L32E. Además se hace uso de una Panel View Plus 700 para hacer el proceso menos complicado con los diferentes usuarios, y para tener acceso a diferentes herramientas suministradas como verificación de errores, control de alarmas, control del consumo de químicos y acceso remoto al HMI (Human Machine Interfaz) por medio de un web server (Servidor web).

La programación implementada en la modificación se realizó en el software RSLogix 5000 y Factory Talk View ME de la compañía Rockwell Automation que actualmente se encuentran licenciados en la cooperativa. Esta acción de mejora se ejecuta gracias al trabajo en equipo el cual se constituye de tres personas en las cuales estoy incluido, pues sin este proceso no se puede llevar a cabo, o el resultado no será el esperado.

Palabras clave: Limpieza en sitio CIP, PLC, HMI, Automatización.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## RECONOCIMIENTOS

Inicialmente a la Cooperativa Colanta por brindarme la oportunidad de demostrar cada uno de los conocimientos que iba adquiriendo allí, participando en una acción de mejora de tanta importancia para la productividad de la empresa.

A los Ingenieros Jesús Alonso Higueta y Oscar Martínez, quienes con su apoyo y conocimiento, proporcionaron cada una de las herramientas para resolver cualquier dificultad que se encontrara en el desarrollo del proyecto.

Al compañero Jorge Andrés Peña, quien ha sido una persona que me brinda todo su conocimiento desde hace muchos años, y que además me acompañó en todo el desarrollo de este proyecto realizando las prácticas profesionales al mismo tiempo.

A mi familia por permitirme llegar tan lejos y enseñarme a cumplir todo lo que me propongo, su apoyo siempre es incondicional.

Al Instituto Tecnológico Metropolitano por enseñarme cada uno de los valores y conocimientos durante los años que allí pase, nada de esto sería posible sin haber estado en tan importante institución.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## ACRÓNIMOS

---

*HMI* Interfaz hombre-máquina

*PLC* Controlador lógico programable

*CIP* Cleaning in Place – Limpieza en sitio

NaOH Soda Caustica

dH Grados alemanes de dureza

UHT Ultra High Temperature (Ultra Alta Temperatura)

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS .....	6
1. INTRODUCCIÓN.....	7
1.1 Objetivo general.....	8
1.2 Objetivos específicos.....	8
2. MARCO TEÓRICO .....	9
2.1 Limpieza de los equipos en una industria láctea .....	9
2.1.1 Recuperación de los residuos de producto.....	9
2.1.2 Preenjuagado con agua .....	9
2.1.3 Limpieza con detergente .....	9
2.1.4 Duración de la limpieza con detergente .....	11
2.2 Sistemas de limpieza CIP (Cleaning in Place).....	12
2.3 Diseño de los sistemas CIP .....	16
2.4 Controlador lógico programable (PLC).....	23
2.5 Interfaz hombre-máquina (HMI).....	24
3. METODOLOGÍA .....	26
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	31
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO .....	34
BIBLIOGRAFÍA.....	35

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## LISTA DE FIGURAS

---

Figura 1. Ejemplo de utensilios utilizados para la limpieza mecánica. (Tetra Pak Processing Systems AB, 1995) .....	11
Figura 2. Turbina de rociado para limpieza de tanques. (Tetra Pak Processing Systems AB, 1995)	13
Figura 3. Ejemplos de montajes de tuberías que dificultan su limpieza. (Tetra Pak Processing Systems AB, 1995) .....	14
Figura 4. Principio del sistema CIP centralizado. (Tetra Pak Processing Systems AB, 1995).....	18
Figura 5. Diseño general de una estación CIP centralizada. (Tetra Pak Processing Systems AB, 1995). .....	19
Figura 6. Sistema satélite CIP. (Tetra Pak Processing Systems AB, 1995) .....	20
Figura 7. Unidad CIP de un sistema descentralizado. (Tetra Pak Processing Systems AB, 1995).....	22
Figura 8. PLC S7-400 de la marca Siemens. (Siemens.com, 2018).....	24
Figura 9. HMI KTP700 Basic de 2 generación, de la marca Siemens. (Siemens.com, 2018) .....	25
Figura 10. PLC ubicado en gabinete de control. Fuente: Propia (Zapata, 2016) .....	27
Figura 11. Vista de aplicación en sitio. Display de visualización de consumo de soda. Fuente: Propia (Zapata, 2016).....	28
Figura 12. Visualización de la aplicación para el HMI. (Zapata, 2016) .....	29
Figura 13. Visualización de la programación en Ladder utilizada. (Zapata, 2016) .....	32
Figura 14. Visualización de la programación en diagrama de bloques. (Zapata, 2016).....	32
Figura 15. Display de visualización de alarmas en panel HMI implementado. (Zapata, 2016) .....	33

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

# 1. INTRODUCCIÓN

---

La Cooperativa Colanta, actualmente se encuentra como una de las empresas líderes en el sector lechero en todo el territorio agroindustrial, con proyección internacional y altos estándares de calidad, con valores y principios, y promoviendo el desarrollo sostenible para la construcción de un mejor país.

Los lavados en la industria deben ser realizados de una manera estricta, con el fin de conseguir el grado requerido de limpieza, ya que como obligación comercial hay que mantener unos niveles altos de higiene, como la contaminación en el producto. Esto significa que la secuencia debe ser exactamente la misma cada vez.

Actualmente el sistema de distribución de químicos principal de la planta requiere un control suficiente para llevar a cabo mediciones del consumo de químicos para realizar las tareas de trazabilidad, de igual forma para que reduzcan pérdidas por reboses inesperados en los diferentes tanques satélites ubicados en diferentes partes de la planta de Lácteos San Pedro. Al tratarse de una variable tan importante en la industria láctea, como lo es la limpieza, se requiere que el uso de los diferentes químicos para realizar las soluciones desinfectantes no presente ningún tipo de problemas, además tener el control de cada una de las variables que intervienen en un proceso de CIP, como caudales, niveles, entre otras.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 1.1 Objetivo general

Realizar una acción de mejora al sistema de automatización de la red principal de distribución de químicos en la planta de Colanta Lácteos San Pedro.

## 1.2 Objetivos específicos

- Desarrollar un nuevo programa para el control de la red de distribución de químicos que permita la confiabilidad y trazabilidad del sistema.
- Diseñar una interfaz HMI que permita la operación del personal encargado y la visualización de cada una de las variables del sistema.



	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 2. MARCO TEÓRICO

---

### 2.1 Limpieza de los equipos en una industria láctea

Los sistemas de limpieza por recirculación (cleaning in place CIP) se adaptan a distintas partes de la planta para así conseguir resultados que demuestren la calidad en la desinfección.

El ciclo de limpieza en una industria láctea comprende las siguientes etapas:

#### 2.1.1 Recuperación de los residuos de producto

Este proceso consiste básicamente en un empuje realizado a través de cada una de las partes de la maquina donde tiene contacto el producto, hasta los silos de almacenamiento; allí ya son tomados por los diferentes procesos de recuperación como regeneración, ultrafiltración, evaporación, entre otros. Este aspecto es importante por tres razones:

- a. Para minimizar las pérdidas de producto
- b. Para facilitar la limpieza
- c. Para reducir la carga contaminante de los vertidos, que a menudo se traducen en considerables ahorros en costes de tratamiento de las aguas residuales.

Nota: Se debe tener un tiempo estimado para así lograr que el producto drene totalmente de las tuberías y los tanques.

#### 2.1.2 Preenjuagado con agua

Un preenjuagado siempre debe llevarse a cabo después de un ciclo de producción. De lo contrario los residuos de leche se secan y se acumularan en las diferentes superficies y por tanto su limpieza será más difícil.

Nota: Los residuos de grasa son más fácilmente arrastrados si el agua del pre enjuague está caliente, pero sin sobrepasar una temperatura de 55°C para no provocar la coagulación de las proteínas. El preenjuagado debe realizarse hasta que el agua que sale del sistema tenga un color claro.

#### 2.1.3 Limpieza con detergente

La suciedad de las superficies calientes normalmente se lava con detergentes alcalinos y ácidos, con aplicaciones intermedias de agua, mientras que las superficies frías se limpian

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

normalmente con soluciones alcalinas y sólo ocasionalmente con soluciones acidas, para los lavados de tipo corto, utilizados en cambios de referencia en las maquinas envasadoras. Para obtener un buen contacto entre la solución de detergente alcalino, normalmente soda caustica (NaOH), y la película de suciedad, es necesario añadir un agente humectante que disminuye la tensión superficial del líquido. El detergente debe ser también capaz de dispersar la suciedad y encapsular las partículas suspendidas para prevenir la floculación.

Se deben controlar cuidadosamente toda una serie de variables para asegurar satisfactoriamente los resultados que se obtendrán con una determinada solución de detergente, estas son:

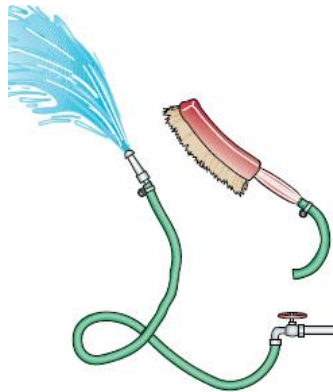
- a. La concentración de la solución de detergente
- b. La temperatura de la solución de detergente
- c. El efecto mecánico sobre las superficies a limpiar (Velocidad)
- d. La duración de la limpieza (Tiempo)

**Concentración de detergente:** La cantidad de detergente en la solución se ha de ajustar a la concentración correcta antes de que empiece la limpieza. Durante el proceso de limpieza, la solución se diluye con el agua de enjuagado y con los residuos de leche. También tiene lugar una cierta neutralización. Por lo tanto, es necesario controlar la concentración durante la limpieza. Un descuido en este control puede afectar seriamente el resultado de la limpieza. El control se puede realizar de forma manual o automáticamente. La dosificación se debe hacer siempre de acuerdo con las indicaciones del suministrador del detergente. El uso excesivo de detergente simplemente incrementa innecesariamente los costos de la limpieza.

**Temperatura del detergente:** (Tetra Pak Processing Systems AB, 1995) La efectividad de la solución de detergente aumenta conforme se incrementa la temperatura. La solución de detergente siempre tiene una temperatura óptima de acción que debe ser utilizada. Como regla general, la limpieza con detergentes alcalinos se debe realizar a la misma temperatura a la que el producto ha sido expuesto, la cual oscila entre 70°C y 80°C. Se recomiendan temperaturas de 68-70°C en la limpieza con detergentes ácidos.

**Efectos mecánicos de la limpieza:** En la limpieza manual se utilizan cepillos para conseguir el efecto mecánico de limpieza deseado, podemos ver un ejemplo de esto en la figura 1 (Tetra Pak Processing Systems AB, 1995).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



*Figura 1. Ejemplo de utensilios utilizados para la limpieza mecánica. (Tetra Pak Processing Systems AB, 1995)*

En la limpieza mecanizada de las redes de tuberías, tanques y otros equipos de proceso, el efecto mecánico se consigue mediante una adecuada velocidad de flujo de las soluciones de limpieza. Las bombas de alimentación de detergente se dimensionan para conseguir mayores capacidades que para el transporte del producto, con velocidades de flujo de 1.5 – 3.0 m/s en las tuberías. A estas velocidades el líquido fluye de forma muy turbulenta. Esto da lugar a un buen efecto de limpieza sobre las superficies del equipo. (Tetra Pak Processing Systems AB, 1995)

#### 2.1.4 Duración de la limpieza con detergente

La duración de la fase de limpieza se debe calcular cuidadosamente para obtener el efecto óptimo de limpieza. Al mismo tiempo, se han de tener en cuenta los costes de electricidad, calentamiento, agua y mano de obra. No es suficiente con rociar la red de tuberías con una solución de detergente. La solución debe circular un tiempo suficiente para disolver la suciedad. El tiempo que necesite depende del espesor de los depósitos de suciedad y de la temperatura de la solución. Un intercambiador de calor de placas con incrustaciones de proteínas coaguladas se debe exponer a una solución de ácido nítrico recirculándose durante unos 20 minutos, mientras que un proceso de 10 minutos con solución alcalina es suficiente para disolver la película formada sobre las paredes de un taque de leche. (Tetra Pak Processing Systems AB, 1995)

**Enjuagado con agua limpia:** Tras la limpieza con detergentes las superficies se deben rociar con agua durante un tiempo suficiente, aproximadamente 20 minutos, para eliminar todas las trazas de detergente. Cualquier detergente saliente del sistema tras la limpieza puede

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

contaminar la leche. Por lo anterior, todas las partes del sistema se han de drenar cuidadosamente.

Se prefiere para el enjuagado agua blanda, que es aquella en la que se encuentran disueltas mínimas cantidades de sales. Esto previene el depósito de incrustaciones de cal sobre las superficies limpias. Los equipos y las redes de tuberías son prácticamente estériles tras el tratamiento con soluciones fuertes alcalinas o ácidas a alta temperatura. Pero es necesario prevenir el crecimiento durante la noche de bacterias en las aguas de enjuagado, remanentes en el sistema. Esto se puede hacer mediante acidificación de las aguas de enjuagado final hasta un pH de menos de 5 por adición de ácido fosfórico o cítrico. Este entorno ácido previene el crecimiento de la mayoría de bacterias.

**Desinfección:** La limpieza con detergentes ácidos o alcalinos llevada a cabo adecuadamente deja el equipo limpio no solo físicamente sino también químicamente, y en gran cantidad bacteriológicamente. El efecto de limpieza bacteriológica se puede mejorar posteriormente por desinfección. Esto deja el equipo virtualmente libre de bacterias. Para ciertos productos (leche UHT, leche estéril) es necesario esterilizar el equipo hasta dejar las superficies completamente libres de bacterias. El equipo de las industrias lácteas se puede desinfectar de las siguientes maneras:

- a. Desinfección térmica (con agua hirviendo, agua caliente o vapor)
- b. Desinfección química (cloro, ácidos, peróxido de hidrogeno, etc.)

La desinfección se puede realizar en la mañana, inmediatamente antes de que comience el procesamiento de la leche. La leche puede ser admitida tan pronto como se haya drenado todo el desinfectante del sistema. Si la desinfección tiene lugar al final del día, la solución de desinfectante se debe arrastrar a continuación con agua para evitar que queden residuos que puedan atacar las superficies metálicas.

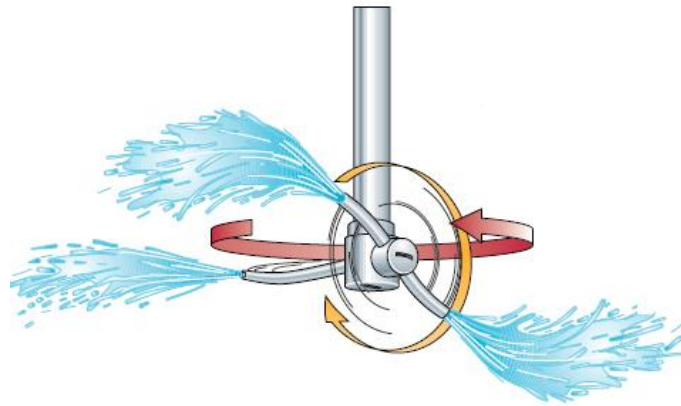
## 2.2 Sistemas de limpieza CIP (Cleaning in Place)

El nombre de estos sistemas (CIP) significa que el agua y las soluciones de limpieza se hacen circular a través de tanques, tuberías y equipos de proceso sin necesidad de que el equipo se desmonte. (Tetra Pak Processing Systems AB, 1995) El sistema de limpieza CIP se puede definir como la recirculación de líquidos de limpieza a través de máquinas y otros equipos dentro de un circuito de limpieza. El paso de los líquidos a elevada velocidad de flujo sobre las superficies de los equipos genera un efecto de limpieza mecánica que arrastra los

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

depósitos de suciedad. Esto es de aplicación a la limpieza de redes de tuberías, intercambiadores de calor, bombas, válvulas, centrifugas, etc.

La técnica normal de limpieza de grandes tanques es rociar el detergente sobre las superficies de las paredes interiores más altas y permitir que vaya bajando sobre las superficies hacia el fondo del tanque. De esta manera el efecto mecánico es a menudo insuficiente, pero el efecto puede mejorarse en cierta medida mediante el uso de dispositivos de aspersión especialmente diseñados como lo ilustra la figura 2. La limpieza de tanques requiere grandes volúmenes de detergentes, que se deben recircular rápidamente.



*Figura 2. Turbina de rociado para limpieza de tanques. (Tetra Pak Processing Systems AB, 1995)*

#### Circuitos CIP

Para la realización de un circuito CIP debe tenerse en cuenta el tipo de equipo que se puede limpiar con un mismo circuito y hay que tener presente los siguientes factores:

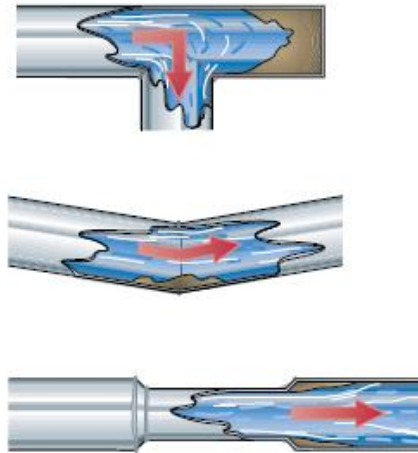
- a. Los depósitos de residuos de producto deben ser del mismo tipo, de manera que se puedan utilizar los mismos detergentes y desinfectantes.
- b. Las superficies de los equipos a ser limpiados han de ser del mismo material o, al menos de materiales compatibles con el mismo detergente y desinfectante a utilizar
- c. Todos los componentes del circuito deben estar disponibles al mismo tiempo para realizar la limpieza.

Las instalaciones de las industrias lácteas se dividen en zonas como almacenamiento, preparación y transporte para realizar la limpieza, determinándose así un cierto número de circuitos que se pueden limpiar en diferentes momentos.

Compatibilidad de los materiales de construcción y diseño del sistema

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Para conseguir un efectivo sistema de limpieza CIP, los equipos de proceso se han de diseñar para que se puedan acoplar a un circuito de limpieza CIP, y para que sean fáciles de limpiar. Todas las superficies han de ser accesibles a la solución detergente. No se deben tener zonas que el detergente no pueda alcanzar o zonas a través de la cual no pueda fluir, este tipo de zonas las vemos en la figura 3.



*Figura 3. Ejemplos de montajes de tuberías que dificultan su limpieza. (Tetra Pak Processing Systems AB, 1995)*

“Las máquinas y las tuberías se han de instalar de tal manera que se puedan drenar de manera efectiva. Cualquier estanqueidad o zona que no pueda ser drenada de agua residual supondrá que en esas zonas tenga lugar una rápida multiplicación de bacterias y causar serios riesgos de contaminación del producto.

Los materiales de los equipos de proceso, tales como el acero inoxidable de Tipo 316, el cual es un acero inoxidable de cromo níquel austenítico que contiene molibdeno. Esta adición aumenta la resistencia a la corrosión general y proporciona mayor resistencia a temperaturas elevadas, los plásticos como el teflón que posee propiedades antiadherentes, cuenta con una alta resistencia a los químicos, y a las temperaturas extremas, entre otros, deben ser de tal calidad que no transmitan ningún olor o sabor al producto. Deben ser capaces de resistir el contacto con detergentes y desinfectantes a las temperaturas de limpieza.

En algunos casos las superficies de las tuberías y de los equipos pueden ser atacadas y pueden contaminar el producto. El cobre, el latón y el estaño son sensibles a los ácidos y las bases fuertes. Incluso pequeñas trazas de cobre en la leche da lugar a un sabor a oxidado (sabor a aceite). El acero inoxidable es el material universal para superficies que estarán

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

humedecidas con producto en las modernas industrias lácteas. En este caso no se tienen problemas de contaminación metálica. No obstante, el acero inoxidable puede ser atacado con soluciones de cloro” (Tetra Pak Processing Systems AB, 1995).

La corrosión electrolítica es bastante común cuando se tienen componentes de cobre o latón en un equipo o tanque construido en acero inoxidable. En estas condiciones el riesgo de contaminación es grande. La corrosión electrolítica puede ocurrir también si se limpia un sistema construido con aceros de diferentes tipos mediante agentes de limpieza con cationes activos, como lo es el peróxido de hidrógeno.

Distintos tipos de plásticos utilizados en la construcción de equipos de proceso pueden presentar riesgo de contaminación. Varios de los constituyentes de algunos plásticos pueden ser disueltos por la grasa de la leche. Las soluciones detergentes pueden tener el mismo efecto. Los materiales plásticos para uso en las industrias lácteas deben por tanto satisfacer ciertas normas en cuanto a composición y estabilidad.

#### Programas CIP

Los programas CIP en las industrias lácteas difieren según el circuito que vaya a ser limpiado, que contenga superficies calientes o no. Se distingue entre:

- a. Programas CIP para circuitos con pasteurizadores y otros equipos con superficies calientes (UHT, etc.)
- b. Programas CIP para circuitos con redes de tuberías, tanques y otros equipos de proceso sin superficies calientes

“La diferencia principal entre los dos tipos es que la circulación de ácido se debe incluir siempre en el primer tipo para eliminar las proteínas y las sales incrustadas en las superficies de los equipos de tratamiento térmico. Un programa CIP para un circuito con pasteurizador, de “componentes calientes”, puede consistir en las siguientes etapas:

1. Enjuagado con agua caliente durante 10 minutos
2. Circulación de una solución de detergente alcalino (0.5-1.5%) durante unos 30 minutos a 75°C
3. Enjuagado del detergente alcalino con agua caliente durante unos 5 minutos
4. Circulación de una solución de ácido nítrico (0.5-1%) durante unos 20 minutos a 70°C
5. Enjuagado con agua fría
6. Enfriamiento gradual con agua fría durante unos 8 minutos

El pasteurizador normalmente se esteriliza por la mañana, antes de que se comience la producción. Esto se suele hacer mediante la circulación de agua caliente a unos 90-95°C

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

durante 10-15 minutos después de que la temperatura del retorno sea al menos 85°C.” (Tetra Pak Processing Systems AB, 1995)

Si se va a hacer la desinfección con productos químicos clorados, existe un riesgo inminente de problemas de rápida corrosión si quedan restos en las superficies de detergente ácido. Entonces, cuando se comience con la limpieza alcalina y se finalice con la limpieza ácida tras un enjuagado intermedio con agua, la planta se debe rociar con una solución alcalina débil para neutralizar el ácido antes de realizar la desinfección con un agente químico clorado.

Un programa CIP para un circuito con tuberías, tanques y otros “componentes fríos” puede comprender las siguientes etapas:

1. Enjuagado con agua caliente durante 3 minutos
2. Circulación de un detergente alcalino al 0.5-1.5% a 75°C durante unos 10 minutos
3. Enjuagado con agua caliente durante unos 3 minutos
4. Desinfección con agua caliente a 90-95°C durante 5 minutos
5. Enfriamiento gradual con agua fría durante unos 10 minutos (Normalmente no se realiza enfriamiento en tanques)

### 2.3 Diseño de los sistemas CIP

En la práctica no existe limitación para satisfacer las exigentes demandas individuales en cuanto al tamaño y complejidad de las plantas CIP.

La estación CIP de una industria láctea consta de equipos como tanques, bombas centrífugas, sensores de nivel y caudal, actuadores neumáticos, controladores; necesarios para realizar el almacenamiento, monitorización y distribución de los fluidos de limpieza a los distintos circuitos CIP. El diseño exacto de la estación viene determinado por muchos factores, tales como:

- a. La manera de alimentarse los circuitos CIP individuales desde la estación central.
- b. Se va a recuperar la leche arrastrada en las aguas de preenjuagado.
- c. La leche recuperada se reprocesará.
- d. El método de desinfección que se utilizará.
- e. Las soluciones detergentes se utilizarán solo una vez o se recuperan para su reutilización.
- f. El consumo estimado de vapor, instantáneo y total, para la limpieza y desinfección.

Si se analiza la historia de los sistemas CIP se encuentran dos escuelas que defienden:

- a. La limpieza centralizada



	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

b. La limpieza descentralizada

Hasta finales de los cincuenta, la limpieza era descentralizada. Los equipos de limpieza se localizaban en la industria láctea junto al equipo de proceso. Los detergentes se mezclaban a mano hasta la concentración requerida lo cual era un indeseable y arriesgado procedimiento para el personal involucrado. El consumo de detergentes era alto, lo que hacía que la limpieza fuese cara.

El sistema CIP centralizado se desarrolló durante los años sesenta y setenta. Se instalaba en la industria láctea una sola estación CIP central. El agua de enjuagado, las soluciones calientes de detergente y el agua caliente se suministraban desde esta unidad por medio de tuberías hasta todos los circuitos CIP de la industria láctea. Después, las soluciones utilizadas se retornaban mediante bombas hasta la estación central, y desde aquí a sus respectivos tanques colectores. Los detergentes recuperados de esta manera se podían ajustar de nuevo hasta la concentración correcta y ser reutilizados hasta que estuvieran excesivamente contaminados con suciedad, siendo entonces vertidos. (Tetra Pak Processing Systems AB, 1995).

Los sistemas CIP centralizados trabajan bien en muchas industrias lácteas, pero en las industrias que son muy grandes las líneas de comunicación entre la estación central y los circuitos CIP periféricos son excesivamente largas. Los sistemas de tuberías CIP contienen grandes volúmenes de líquido, incluso cuando son “drenadas”. El agua que queda en las tuberías tras el preenjuagado diluye la solución de detergente, lo que significa que se deben añadir grandes cantidades de detergente concentrado para mantener la concentración correcta. Cuanto mayor es la distancia, mayores son los costes de limpieza. De esta manera se justifica que haya cierto movimiento hacia las estaciones CIP descentralizadas en grandes industrias lácteas al final de los años setenta. Cada área tiene así su propia estación CIP.

Sistemas CIP centralizados:

Los sistemas centralizados se utilizan principalmente en pequeñas industrias lácteas con líneas de comunicación relativamente cortas. Los componentes de un sistema CIP centralizado se observan en la figura 4 y descritos así:

1. Tanque para detergente alcalino
2. Tanque para detergente ácido

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Objetos a ser limpiados:

- A. Tratamiento de leche
- B. Grupos de tanques
- C. Grupo de silos
- D. Máquinas de envasado

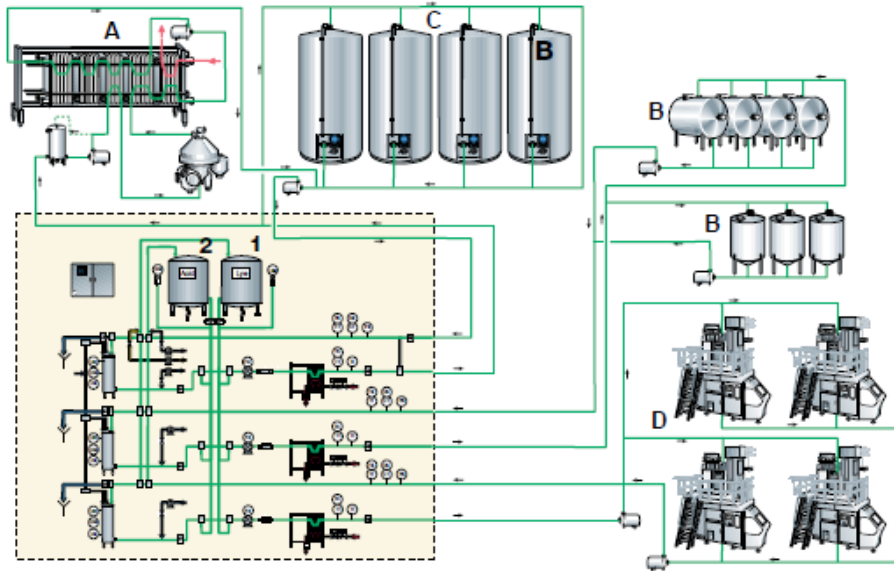


Figura 4. Principio del sistema CIP centralizado. (Tetra Pak Processing Systems AB, 1995).

El agua y las soluciones de detergentes se bombean desde los tanques de almacenamiento de la estación central hasta los distintos circuitos CIP.

Las soluciones de detergente y el agua caliente se mantienen calientes en tanques aislados. Las temperaturas requeridas se mantienen mediante intercambiadores de calor. El agua de enjuagado final se recoge en el tanque de agua de enjuagado y se utiliza como agua de preenjuagado en el siguiente programa de limpieza. La mezcla leche/agua procedente del primer enjuagado con agua se recoge en el tanque de leche de enjuagado.

Las soluciones de detergente se deben verter cuando se han ensuciado tras repetidos usos. El tanque de almacenamiento correspondiente se ha de limpiar después de este vertido y

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

se debe volver a llenar con nuevas soluciones de detergente. También es importante vaciar y limpiar los tanques de agua, especialmente el tanque de agua de enjuagado, a intervalos regulares para evitar el riesgo de contaminación de la línea de proceso limpia. Un ejemplo de diseño de una estación CIP centralizada y cada uno de sus elementos se ilustra en la figura 5.

1. Tanque de agua fría
2. Tanque de agua caliente
3. Tanque de agua de enjuagado
4. Tanque de detergente alcalino
5. Tanque de detergente ácido
6. Tanque de leche de enjuagado
7. Intercambiador de calor de placas
8. Bombas de impulsión del sistema
9. Líneas de impulsión del sistema
10. Líneas de retorno del sistema

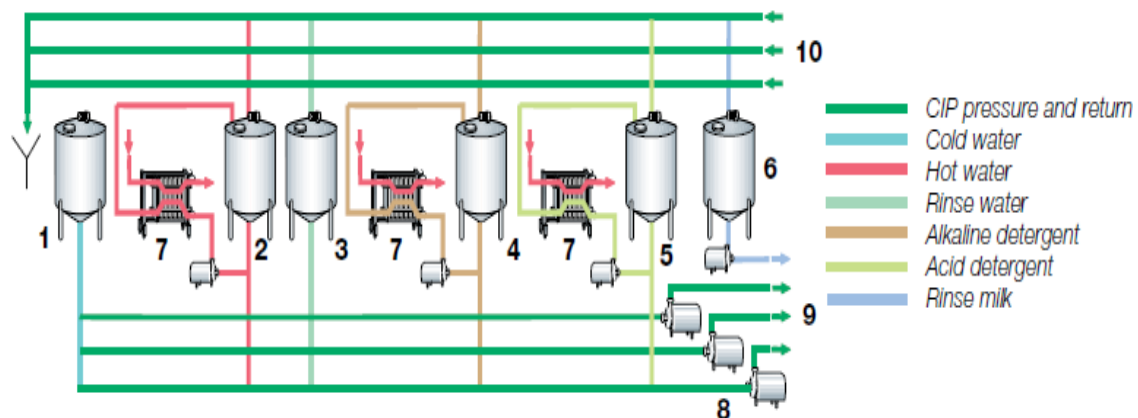


Figura 5. Diseño general de una estación CIP centralizada. (Tetra Pak Processing Systems AB, 1995).

Una estación de este tipo normalmente está muy automatizada. Los tanques tienen electrodos para monitorización del nivel alto y bajo. El retorno de las soluciones de limpieza está controlado mediante transmisores de conductividad. La conductividad es proporcional a las concentraciones normalmente usadas en la limpieza. En la fase de enjuagado con agua la concentración de la solución de detergente es cada vez más baja. En este valor se produce un cambio sobre la posición de las válvulas que envían el líquido a drenaje y no al tanque

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

colector de detergente. Los programas CIP se controlan desde un controlador de secuencia computarizado. Las grandes estaciones CIP pueden estar equipadas con múltiples tanques para conseguir la capacidad adecuada.

Sistemas CIP descentralizados:

Los sistemas CIP descentralizados constituyen una atractiva alternativa para las grandes industrias lácteas donde las distancias entre una estación CIP central y los circuitos CIP periféricos podrían ser extremadamente largas. La gran estación CIP central es reemplazada por una serie de unidades más pequeñas localizadas cerca de los distintos grupos de equipos de proceso de la industria láctea. (Tetra Pak Processing Systems AB, 1995).

Se numeran cada uno de los componentes de una estación de CIP central:

1. Tanque de almacenamiento para detergente alcalino
2. Tanque de almacenamiento para detergente ácido
3. Líneas en anillo para detergentes
4. Equipos a limpiar
5. Unidad satélite CIP
6. Sistema CIP descentralizado con sus propios tanques de detergente.

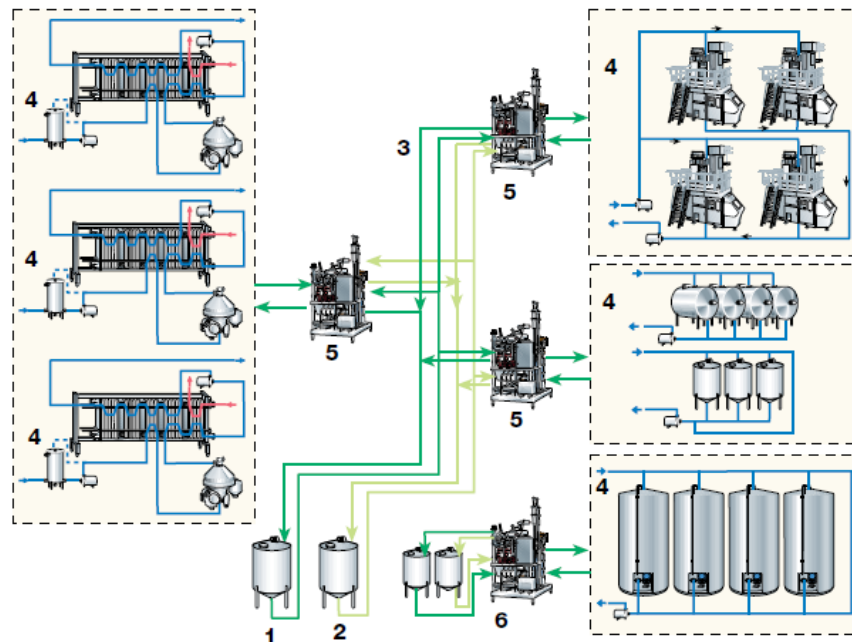


Figura 6. Sistema satélite CIP. (Tetra Pak Processing Systems AB, 1995)

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

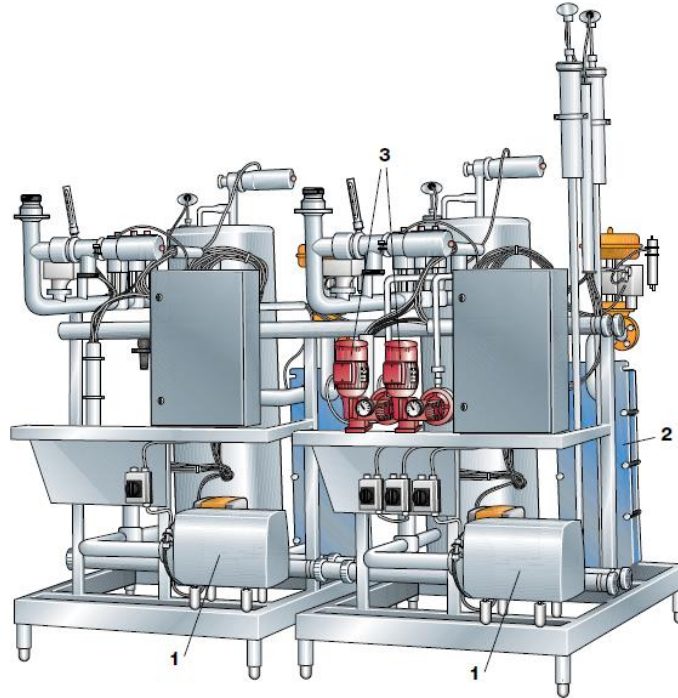
La figura 6 ilustra el principio de un sistema CIP descentralizado, también denominado sistema CIP satélite. Este aún tiene una estación central para el almacenamiento de los detergentes ácidos y alcalinos, que son distribuidos individualmente a las unidades CIP mediante líneas de distribución. El suministro y calentamiento del agua de enjuagado (y detergente ácido cuando se necesite) se solucionan localmente en las estaciones satélites.

Estas estaciones operan según el principio de que las distintas etapas del programa de limpieza se llevan a cabo con un volumen mínimo de líquido cuidadosamente medido – justo el suficiente para llenar el circuito que se va a limpiar. Se utiliza una bomba de circulación potente para impulsar el detergente a través del circuito a una elevada velocidad de flujo.

El principio de circulación de pequeñas cantidades de soluciones de limpieza tiene muchas ventajas. El consumo de agua y vapor, tanto el instantáneo como el total, se puede reducir mucho. Los residuos de leche procedente de los primeros enjuagados se obtienen más concentrados por lo que son más fáciles de manejar y más económicos de evaporar. Los sistemas CIP descentralizados reducen la carga contaminante de las aguas residuales, si se comparan con los sistemas CIP centralizados, que utilizan grandes volúmenes de líquido.

El concepto de detergentes de simple uso se ha introducido junto con los sistemas CIP descentralizados, en oposición a la práctica normal de reciclado de los detergentes en sistemas centralizados. El concepto de un solo uso se basa en la suposición de que la composición de la solución de detergente se puede optimizar para un circuito determinado. La solución se considera gastada después de haberse utilizado una vez. En algunos casos, sin embargo, se puede utilizar para preenjuagado en un programa posterior.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



*Figura 7. Unidad CIP de un sistema descentralizado. (Tetra Pak Processing Systems AB, 1995).*

La verificación del efecto de limpieza se debe considerar como una parte esencial de las operaciones de limpieza. Puede adoptar dos formas: inspección visual y bacteriológica. Debido al avance de la automatización, las líneas de proceso hoy en día son raramente accesibles para inspección visual. Esto se debe reemplazar por una monitorización bacteriológica, concentrada en cierto número de puntos estratégicos en la línea. Los resultados de la limpieza CIP se controlan normalmente mediante cultivos de bacterias coliformes. Cuando se hace un test de limpieza de una superficie, el criterio es encontrar menos de una bacteria coliforme por cada 100 cm<sup>2</sup> de superficie controlada. El resultado es inaceptable si el recuento es superior. Estos test se pueden hacer sobre las superficies del equipo después de haberse realizado el programa CIP. Esto se aplica a los tanques y a las redes de tuberías, sobre todo cuando se detectan recuentos excesivamente altos de bacterias en el producto. Las muestras se toman a menudo del agua de enjuagado final o del primer producto que pasa a través de la línea tras la limpieza.

Todos los productos se han de controlar en cuanto a calidad bacteriológica en sus envases para obtener un completo control de calidad de los procesos de fabricación. El programa completo de control de calidad, además del test de coliformes, también incluye la determinación del recuento total de microorganismos y un control organoléptico (catas).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 2.4 Controlador lógico programable (PLC)

“Se define como un sistema electrónico de funcionamiento digital, diseñado para ser utilizado en un entorno industrial, que utiliza una memoria programable para el almacenamiento de instrucciones orientadas al usuario, para la realización de funciones específicas tales como enlaces lógicos, secuenciación, temporización, recuento y cálculo, para controlar, a través de entradas y salidas digitales o analógicas, diversos tipos de máquinas o procesos. Tanto el PLC como sus periféricos asociados están diseñados de forma que puedan integrarse fácilmente en un sistema de control industrial y ser fácilmente utilizados en todas las aplicaciones para las que están previstos” (Siemens, 2018)

Los sucesivos desarrollos llevaron a un sistema que permitía la conexión sencilla de señales binarias. Con los nuevos sistemas, fue posible por primera vez mostrar las señales en una pantalla y archivar los programas en memorias electrónicas. Desde entonces han pasado tres décadas, durante las cuales los enormes progresos hechos en el desarrollo de la microelectrónica han favorecido la proliferación de los controles lógicos programables. Por ejemplo, a pesar de que en sus comienzos la optimización del programa y con ello la necesidad de reducir la ocupación de memoria representaba una tarea importante para el programador, en la actualidad esto apenas tiene importancia.

La tarea original de un PLC es la interconexión de señales de entrada, de acuerdo con un determinado programa, y si el resultado de esta interconexión es "cierta", activar la correspondiente salida. El álgebra de Boole forma la base matemática para esta operación, ya que solamente reconoce dos estados definidos de una variable: "0" (falso) y "1" (cierto). Consecuentemente, una salida solo asume estos dos estados. Por ejemplo, una electroválvula conectada a la salida puede estar activada o desactivada, es decir, controlada.

Las tareas del PLC fueron ampliando rápidamente, donde funciones de temporización y recuento, operaciones matemáticas, conversión de señales analógicas ahora, entre otras, pueden ejecutarse en casi todos los PLC's actuales

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



*Figura 8. PLC S7-400 de la marca Siemens. (Siemens.com, 2018)*

El hardware del PLC o, como es el caso de casi todos los sistemas centrales de los PLCs microordenadores actuales, está basado en un sistema de bus. Un sistema de bus es un determinado número de líneas eléctricas divididas en líneas de direcciones, de datos y de control. La línea de direcciones se utiliza para seleccionar la dirección de un elemento conectado al bus y la línea de datos para transmitir la información requerida. Las líneas de control son necesarias para habilitar el dispositivo conectado al bus como emisor o como receptor. Los principales elementos conectados al sistema de bus son el microprocesador y la memoria. La memoria puede dividirse en memoria para el firmware y memoria para el programa y los datos del usuario.

Según la estructura del PLC, los módulos de entradas y salidas se conectan a un simple bus común o, con la ayuda de una interfaz de bus, a un bus externo de E/S. Especialmente en el caso de grandes sistemas modulares de PLC, es más usual un bus externo de E/S. Finalmente, se necesita una conexión para el aparato programador o un PC.

## **2.5 Interfaz hombre-máquina (HMI)**

Cuando la máquina que se controla mediante un autómata programable es sencilla, el usuario no suele tener que proporcionarle información ni recibirla de ella. Pero cuando la máquina debe interactuar con el operador, por ejemplo, para realizar la gestión de alarmas, o es compleja, el sistema de control debe proporcionar al usuario la posibilidad de



	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

modificar parámetros, observar el estado de determinadas variables, etc. Para ello se dota al autómatas programable de un periférico que sirve de unidad de acoplamiento (interfaz) entre el usuario y la máquina. Dicho periférico suele recibir el nombre de HMI (acrónimo de Human Machine interface) o MMI (acrónimo de Man Machine Interface).

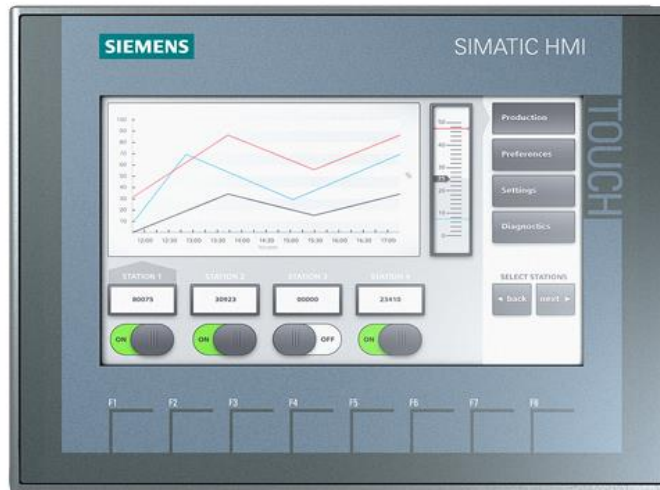


Figura 9. HMI KTP700 Basic de 2 generación, de la marca Siemens. (Siemens.com, 2018)

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### 3. METODOLOGÍA

---

Inicialmente se procedió a estudiar el funcionamiento existente de la red principal de distribución de químicos, realizando algunas encuestas de manera informal para tomar los datos por parte de los operarios encargados de la red, mediante espacios de conversación alrededor de la planta, para así encontrar los distintos aspectos que se deben mejorar en esta, aquí es donde se encuentran algunas de las principales fallas que hacen que el sistema no sea confiable tales como errores en la medición de cantidad enviada a los diferentes tanques satélites, reboses por fallas en la lectura de los diferentes sensores de nivel, entre otras. Luego se realiza el respectivo estudio del funcionamiento que consta de un trabajo donde se identifican visualmente los diferentes dispositivos y herramientas que tenemos para realizar la intervención y las que hacen falta.

Al terminar la fase de evaluación del funcionamiento y conocimiento sobre los dispositivos y herramientas a usar en la acción de mejora, los líderes evalúan la opción de realizar un nuevo programa de control, donde se mejore el sistema existente para cumplir con las especificaciones necesarias como la precisión de los sensores, la escalización de los caudalímetros y totalizadores del sistema, y los reboses presentados por lógica incoherente en el control, brindando así un funcionamiento correcto y una buena distribución de químicos a los diferentes tanques satélites ubicados en la planta.

Al iniciar el desarrollo de la acción de mejora, se realiza el programa para el nuevo control de la red, el cual es implementado por medio del software RSLogix 5000 y un PLC CompactLogix L32E de la compañía Rockwell Automation, los cuales se encuentran licenciados en la compañía y a disposición para su uso en las diferentes actividades de automatización que allí se ejecutan.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



*Figura 10. PLC ubicado en gabinete de control. Fuente: Propia (Zapata, 2016)*

Por la facilidad para el manejo de las variables, y los conocimientos adquiridos realizando pequeños cursos en el tiempo de preparación para desarrollar la acción de mejora, el tipo de lenguaje que se utiliza para la programación del controlador es lenguaje Ladder o escalera y diagramas de bloques también se hace uso de la función Add-on suministrada por el software la cual brinda la posibilidad de no hacer tramas de código repetitivas para cada uno de los envíos.

El programa que se realiza esta conformado por cuatro envíos, de los cuales están divididos en envío manual y automático de ácido nítrico, y envío manual y automático de soda caustica hacia los diferentes tanques satélites. Igualmente, se implementan módulos contadores rápidos 1769-IN030A de la marca Allen Bradley para recibir los pulsos que son proporcionados por los caudalímetros siemens que están en el sistema, para así llevar un registro de la cantidad de químicos enviada a cada uno de los procesos. Se dota la red con un algoritmo, el cual le da prioridades a los procesos que tienen mayores relevancias a la hora de realizar el lavado CIP como lo son la fabricación y empaque de quesos hilados, queso blanco y pulverización.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En segundo lugar, se diseña una interfaz hombre máquina (HMI-Human Machine Interface) para la operación y supervisión del funcionamiento de la red. Dicha interfaz es diseñada con el software Factory Talk View Machine Edition y una Panel View plus 700. Esta interfaz es desarrollada buscando similitud en las gráficas del display a la distribución de la planta, en la cual se recibieron ideas de compañeros de la planta donde nos permitía encontrar la manera más fácil de la interpretación por parte del operario con el sistema; finalmente se reciben las sugerencias de la cantidad de alarmas que pueden ser de alta importancia como el rebose o el mal funcionamiento de un actuador y se agregan. La interfaz consta de aproximadamente 13 ventanas, entre las cuales se puede evidenciar el funcionamiento de la red, enviar manualmente ácido o soda, verificar tanto los niveles a los que se encuentran los tanques como el consumo de ácido y soda, historial de alarmas, activación de los sensores que indicaban el correcto funcionamiento de los diferentes actuadores etc.

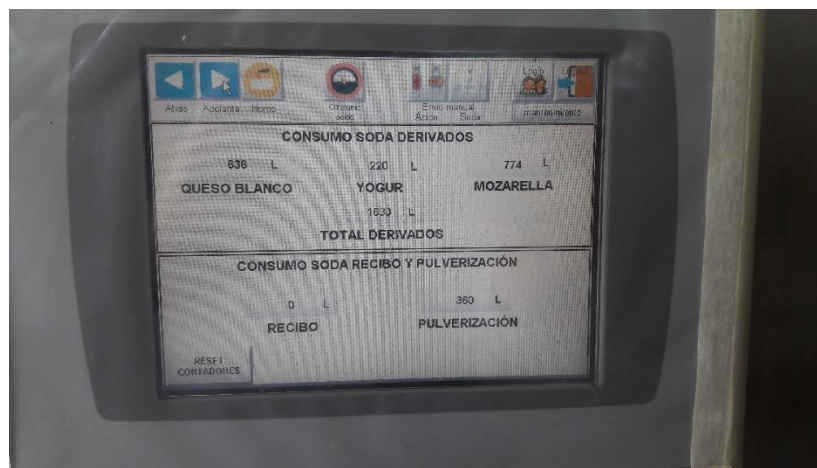


Figura 11. Vista de aplicación en sitio. Display de visualización de consumo de soda. Fuente: Propia (Zapata, 2016)

Luego se implementa un servidor web (Web Server), el cual nos permite acceder remotamente al HMI desde cualquiera de los servidores con acceso a internet y que estén en el mismo segmento de red del PLC y la Panel View. Este se diseña utilizando el

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

complemento Factory Talk ViewPoint de Factory Talk View. Para la visualización del sistema se comparten todas las ventanas diseñadas y se colocan en modo de solo lectura para evitar que cualquier persona tenga acceso a los envíos manuales del sistema. La visualización del servidor web la podemos observar en la figura 12.

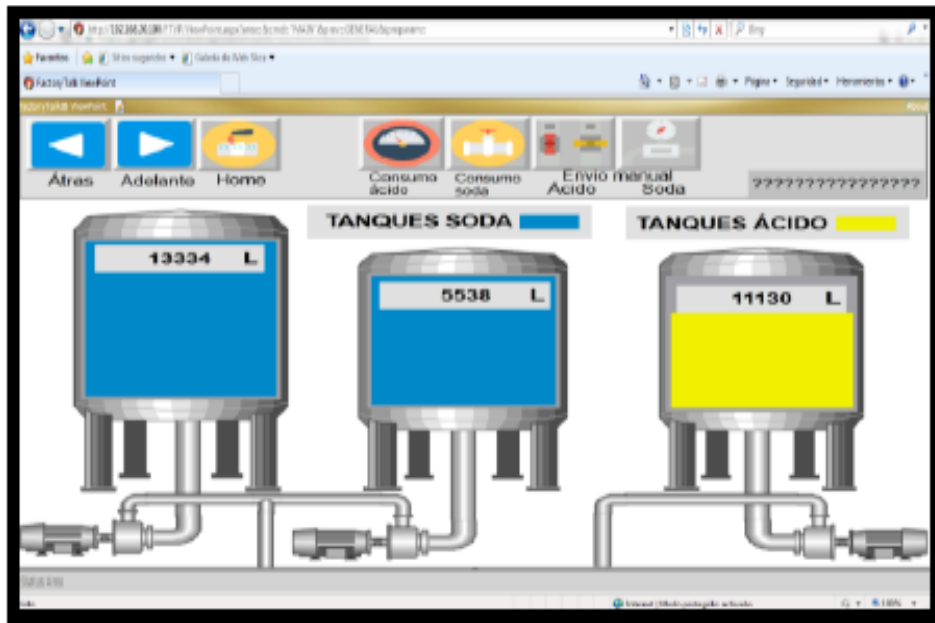


Figura 12. Visualización de la aplicación para el HMI. (Zapata, 2016)

Se decidió por realizar un montaje de una válvula electro neumática tipo mariposa de más que restringiera la llegada de los químicos a los tanques satélites del proceso debido al efecto de la fuerza gravitacional, y una pequeña modificación en el programa realizado, donde simplemente se tuvo que agregar la nueva válvula al sistema y su respectivo accionamiento llevando la lógica implementada para el control de la red de distribución de químicos.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

---

Luego de las diferentes actividades realizadas durante el proceso se puede concluir que los resultados esperados fueron satisfactorios, ya que se logró cumplir los diferentes objetivos propuestos.

Actualmente la red de distribución de químicos para el lavado CIP de la planta Lácteos Colanta dispone de un sistema de automatización capaz de trabajar e identificar sus fallas automáticamente y permitir información de interés para la trazabilidad de la planta. Se evidencia también el buen desempeño de la red observando

Adicional a esto se implementó un sistema de seguridad y alarmas con visibilidad en el HMI, el cual nos brinda la posibilidad de visualizar de los distintos tipos de daños y alarmas como: protección de motores de bombas centrífugas disparados, sensores desconectados, nivel máximo y mínimo alcanzado, envío máximo permitido sobrepasado, apertura errónea de válvulas del sistema, entre otros.

También se comparte una parte de la visualización con el departamento de suministros el cual es el encargado de llevar el historial y la contabilidad de químicos que ingresan a la planta y son usados para los lavados.



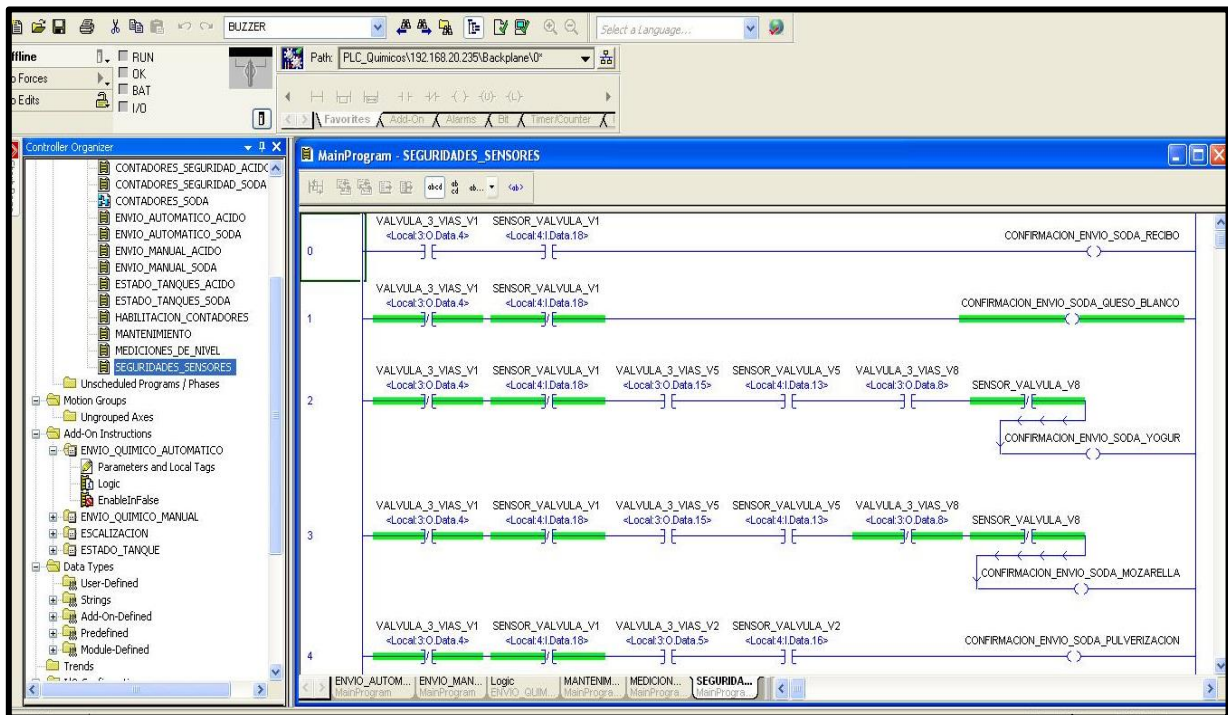


Figura 13. Visualización de la programación en Ladder utilizada. (Zapata, 2016)

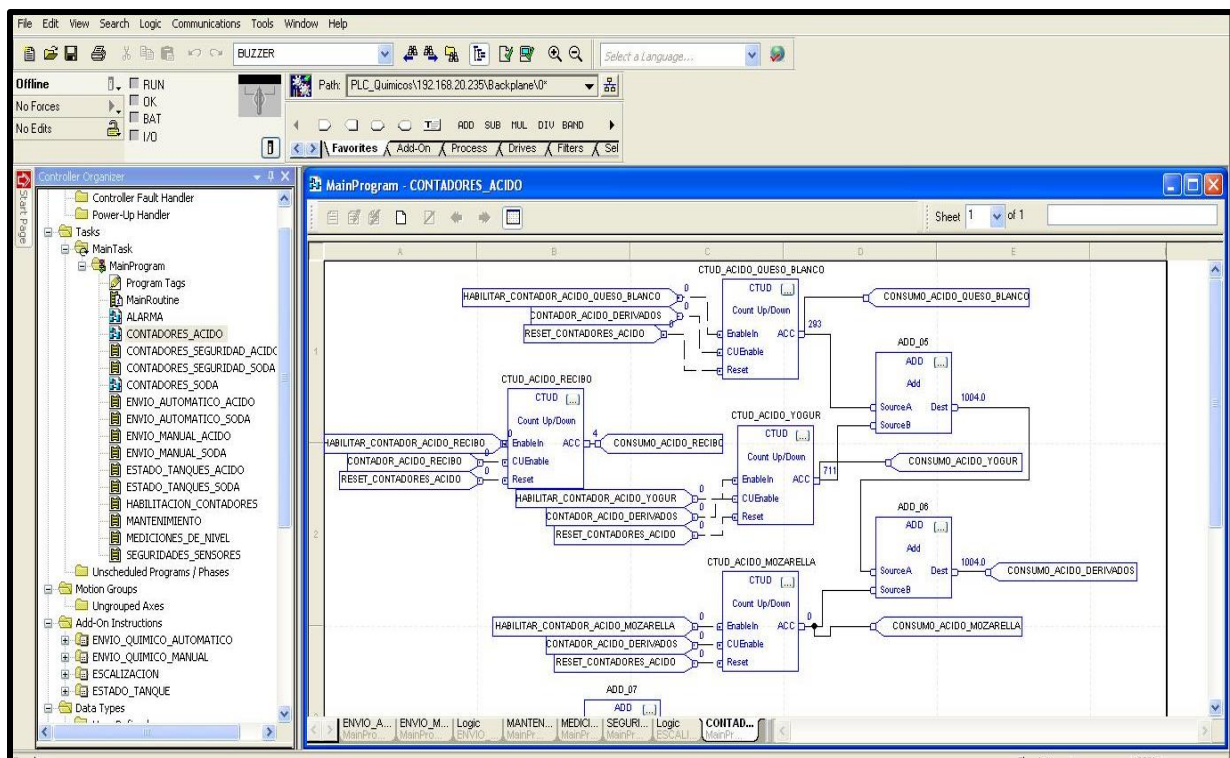


Figura 14. Visualización de la programación en diagrama de bloques. (Zapata, 2016)





Figura 15. Display de visualización de alarmas en panel HMI implementado. (Zapata, 2016)

Al realizar los diferentes cambios de la red, se pudo observar que el químico que era enviado a la sección de recibo de leche presentaba algunos desbordamientos en los tanques satélites, por consecuencia de la cantidad de químicos que quedaba contenido en la tubería por donde se realizaba el respectivo envío.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

---

- Es posible caracterizar un proceso de lavado en la industria lechera, gracias a la información proporcionada en manuales y libros por industrias líderes mundialmente en el sector como Tetra Pak.
- Se realiza la implementación de un nuevo programa de control para la red principal de distribución de químicos de la Cooperativa Colanta Planta Lácteos San Pedro. Con apoyo en los conocimientos de los líderes del proyecto se logra aprobar cada una de las dificultades presentadas durante el proceso como lo fueron temas de instrumentación y del proceso que se quería llevar a una mejora y obteniendo un buen resultado el cual permite el óptimo funcionamiento de un nuevo sistema.
- La implementación de nuevos sistemas de control en procesos que se requiere confiabilidad y buen funcionamiento lleva a la industria a la competitividad con las demás empresas.
- Con la implementación del sistema es notorio que disminuye la pérdida de químicos que se presentaba anteriormente.
- Es recomendable apuntar más hacia las pérdidas y desbalances en trazabilidad haciendo que el producto que quede en la tubería retorne hacia los tanques o por el contrario la instalación de válvulas que no permitan su ingreso por fuerza de la gravedad a alguno de los tanques ubicados en la planta.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## BIBLIOGRAFÍA

---

Amiot, J. (1991). *Ciencia y Tecnología de la leche, principios y aplicaciones*.

Enrique Mandado Perez, J. M. (2009). *Automatas programables y sistemas de automatización*.  
 Barcelona: Marcombo, S.A.

Festo Didactic. (s.f.). *Sistemas de Aprendizaje para la Automatización y la Comunicación*.

Siemens. (2018). Obtenido de  
<https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Products/5000014?tree=CatalogTree#>

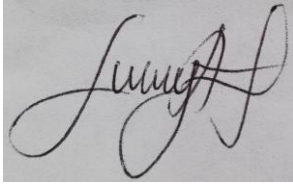
Siemens.com. (2018). Obtenido de  
[https://www.automation.siemens.com/bilddb/interfaces/InterfacelImageDB.aspx/GetImageVariant?objectkey=P\\_ST80\\_XX\\_02329&imagevariantid=19&lang=XX&interfaceuserid=MALL](https://www.automation.siemens.com/bilddb/interfaces/InterfacelImageDB.aspx/GetImageVariant?objectkey=P_ST80_XX_02329&imagevariantid=19&lang=XX&interfaceuserid=MALL)

Tetra Pak Processing Systems AB. (1995). *Dairy processing handbook*. Lund.

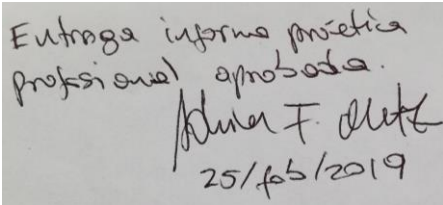
Walstra, P., Wouters, J. T., & Geurts, T. J. (2005). *Dairy Science and Technology*.

Zapata, L. E. (2016). San Pedro.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



FIRMA ESTUDIANTES \_\_\_\_\_



FIRMA ASESOR \_\_\_\_\_

FECHA ENTREGA: 25 de Febrero de 2019

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD \_\_\_\_\_

RECHAZADO\_\_\_      ACEPTADO\_\_\_      ACEPTADO CON MODIFICACIONES\_\_\_

ACTA NO. \_\_\_\_\_

FECHA ENTREGA: \_\_\_\_\_

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD \_\_\_\_\_

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ACTA NO. _____
FECHA ENTREGA: _____