

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

Diseño y Acondicionamiento del Sistema Automático de una Planta de Tratamiento de Agua Residuales.

FABIAN ARLEY ZULETA MUÑOZ

INGENIERÍA MECATRÓNICA

Director

Manuel Alejandro Ospina Alarcón

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

FEBREO 2019

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

RESUMEN

Este documento describe como a través de la implementación de instrumentos de medición y diseño de sistemas de control, se optimizó el proceso de la planta de tratamiento PTARI del datacenter de Bancolombia y se garantizó que los principales parámetros físico-químicos del agua, que es utilizada para el proceso industrial, en este caso la planta de agua helada, se mantengan dentro de sus rangos permisibles de acuerdo a las recomendaciones del fabricante del sistema. Ésta implementación fue desarrollada bajo la metodología DMAIC, (Definir, Medir, Analizar, implementar y controlar) la cual consiste en lograr unas metas u objetivos específicos de manera cíclica con los mejores análisis y resultados al culminar el proyecto.

Para alcanzar los objetivos del proyecto, fue necesario reemplazar el autómata programable obsoleto por un dispositivo de control más confiable y con mayor capacidad para integrar todas las señales necesarias en la implementación de los sistemas de medición y acción; se diseñó una interfaz gráfica HMI para el monitoreo y control remoto de los procesos de la planta de tratamiento; se cambió la dosificación de cloro gaseoso por un sistema de cloración líquido automático más seguro y confiable eliminando el riesgo de la salud de las personas; se implementó un sistema automatizado de dosificación de soda caústica que garantizó el control del PH del agua entre los parámetros recomendables para el proceso y se diseñó un sistema de control de conductividad automatizado que garantizó los ciclos de concentración del agua entre los parámetros recomendables del proceso.

Con esta implementación se logró mejorar la calidad del agua suministrada a la planta de agua helada del datacenter de Bancolombia, controlando los parámetros físico químicos principales de acuerdo con las recomendaciones del fabricante del sistema y así disminuir el riesgo a la salud de las personas, mitigar la contaminación microbiológica en el tanque y evitar la corrosión en las tuberías por una supercloración; mantener los ciclos de concentración del agua y evitar incrustaciones en los intercambiadores de calor de los enfriadores por la concentración de sólidos disueltos en el agua y por ende garantizar el buen estado de los condensadores del chiller y una alta eficiencia en el proceso de transferencia térmica del enfriador.

Palabras claves: DMAIC, control PID, PTARI, Instrumentación, parámetros físico-químicos.

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

RECONOCIMIENTOS

Mis sinceros agradecimientos a aquellas personas que hicieron parte de mi desarrollo personal y académico durante el curso de mi carrera profesional, agradezco a mi tutor por el apoyo e interés que demostró para que este proyecto se llevara a cabo, a mi familia por su paciencia y acompañamiento durante estos años de largas jornadas y sacrificios, a la administración del datacenter de Bancolombia por brindarme la oportunidad y confianza de implementar en su planta de tratamiento la finalidad de este proyecto.

A mis compañeros de la facultad y profesores siempre les agradezco el conocimiento aportado durante estos años de grandes sacrificios y exitosos momentos que nos han fortalecido como ser humano.

Fabián Zuleta Muñoz.

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

ACRÓNIMOS

- DMAIC Definir, medir, analizar, implementar y controlar.
- PTAP Planta de tratamiento de agua potable.
- PTAR Planta de tratamiento de aguas residuales.
- PTARI Planta de tratamiento de aguas residuales industriales.
- CVHF Enfriador con compresor tipo centrifugo.

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

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	6
2. MARCO TEÓRICO	7
3. METODOLOGÍA.....	16
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	21
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	31
REFERENCIAS	32
APÉNDICE.....	34

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

1. INTRODUCCIÓN

En el Datacenter de Bancolombia se tiene un sistema encargado de tratar y/o acondicionar las aguas lluvias, recolectadas en la cubierta del edificio y las aguas producidas en los procesos de condensación de las máquinas de aire acondicionado y de confort. Las aguas tratadas por esta planta de tratamiento de aguas residuales PTARI tienen como destino, la reposición por pérdidas de condensación en las torres de enfriamiento para la planta de agua helada. Este proceso consiste básicamente en un sistema de filtración ascendente, y posterior a éste, se hace un proceso de desinfección con cloro gaseoso, con el objetivo de garantizar la estabilidad organoléptica y microbiológica del agua tratada.

Para el tratamiento del agua se emplean un conjunto de operaciones y sistemas con procesos físicos, químicos o biológicos cuya finalidad es reducir o eliminar la contaminación y características no deseables del agua, ya sean por causas naturales o el resultado de un proceso. El objetivo principal es obtener unas características adecuadas para el uso que se pretende, ya que los procesos para el tratamiento varían dependiendo de las propiedades iniciales del agua como de su destino final.

El proyecto consistió en mejorar las condiciones fisicoquímicas del agua tratada con el fin de garantizar que los principales parámetros fisicoquímicos del agua que es utilizada para el proceso industrial, en este caso la planta de agua helada, se mantenga dentro sus rangos permisibles de acuerdo a las recomendaciones del fabricante del sistema, y así garantizar el buen estado de los condensadores del chiller y una alta eficiencia en el proceso de transferencia térmica del enfriador.

Se diseñó un sistema de control industrial automatizado para: controlar el pH, garantizando la correcta dosificación de soda caustica; se cambió la dosificación de cloro gaseoso por un sistema de análisis y cloración líquida, con el fin de disminuir el riesgo a la salud de las personas y mitigar la contaminación microbiológica en el tanque y así evitar la corrosión en las tuberías por una supercloración; acondicionar un control de conductividad para mantener los ciclos de concentración entre los intervalos permisibles (1000 μ microSiemens/centímetro – 1500 μ microSiemens/centímetro) y así evitar incrustaciones en los intercambiadores de calor de los enfriadores por la concentración de sólidos disueltos en el agua, lo cual ocasiona una baja eficiencia en el proceso de transferencia térmica del enfriador.

El proyecto se realizó con la metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Implementar y Controlar), la cual está diferenciada por unos pasos que ayudan a obtener las metas propuestas entorno a una necesidad o problema. El anterior ciclo se implementó a cada uno de los procesos de control de variables fisicoquímicas de la planta con el fin de obtener un eficiente y confiable proceso de tratamiento que garantizó las condiciones ideales del agua para uso industrial.

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

Con el fin de cumplir satisfactoriamente con cada una de las actividades previamente expuestas, el presente proyecto se organiza de la siguiente manera: En el marco teórico se presentan los conceptos básicos y los tipos de plantas de tratamientos de acuerdo con su aplicación, ya que estas constituyen la base fundamental para el diseño del control automático con PLC y HMI. En la sección 3, se encuentra La metodología utilizada para la ejecución proyecto. La sección 4, da la explicación de la implementación de los sistemas, su funcionamiento, equipos instalados y programación del control tanto en el PLC como en la HMI, además se registran los resultados obtenidos con la calidad del agua y las posibilidades de mejora de éste control. Por último, en la sección 5 se reportan las conclusiones y trabajos futuros.

2. MARCO TEÓRICO

“El agua es un elemento esencial para la existencia de vida en nuestro planeta. Todos los seres vivos somos, en mayor o menor medida, agua y necesitamos consumirla de forma continua para vivir. Es por ello que la humanidad ha almacenado y distribuido agua prácticamente desde sus orígenes. Desde las primeras técnicas de almacenaje, limpieza y distribución hasta las infraestructuras y tecnologías actuales para el tratamiento de aguas, reciclado de aguas y depuración de aguas ha transcurrido una larga historia”. (Condorchem, 2010)

Para el tratamiento del agua se emplean un conjunto de operaciones y sistemas con procesos físicos, químicos o biológicos cuya finalidad es reducir o eliminar la contaminación y características no deseables del agua, ya sean por causas naturales o el resultado de un proceso. El objetivo principal es obtener unas características adecuadas para el uso que se pretende, ya que los procesos para el tratamiento varían dependiendo de las propiedades iniciales del agua como de su destino final.

En la actualidad las plantas de tratamiento se pueden clasificar en dos grupos principales que son: Plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) y Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR).

Plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP)

En las plantas de tratamiento de agua potable (PTAP) se realizan los procesos necesarios para que el agua natural procedente de los embalses y otras captaciones se transforme en agua apta para el

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

consumo humano, ya que el desarrollo de la sociedad necesita cada vez más agua, en ocasiones no solo es escasa sino que su calidad no es óptima en los puntos donde se encuentra y capta, desafortunadamente se ha ido deteriorando día a día con el propio desarrollo, esto obliga a un tratamiento cada vez más amplio y complejo técnicamente.

Existen diferentes tipos de PTAP como las convenciones, compactas, modulares entre otras, pero todas cumplen los mismos principios: combinación de barreras múltiples, tratamiento integrado para producir el efecto esperado y tratamiento por objetivo (cada etapa del tratamiento tiene una meta específica relacionada con algún tipo de contaminante), (Acuatécnica, 2016).

Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR)

Las aguas residuales pueden definirse como las aguas que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población, después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias, (Mara, 1976). De acuerdo a su origen resultan de la combinación de líquidos y residuos sólidos transportados por el agua proveniente de residencias, oficinas, establecimientos comerciales, instituciones, industrias, actividades agrícolas, aguas superficiales, subterráneas y de precipitación. En la Tabla 1 Se puede ver un listado de contaminantes comunes que podemos encontrar en aguas residuales:

Tabla 1. Principales contaminantes del agua.

Contaminante	Fuente	Importancia Ambiental
Sólidos suspendidos	Uso doméstico, desechos industriales y agua infiltrada a la red.	Causa depósitos de lodo y condiciones anaeróbicas en ecosistemas acuáticos.
Compuestos orgánicos biodegradables	Desechos domésticos e industriales.	Causa degradación biológica, que incrementa la demanda de oxígeno en los cuerpos receptores y ocasiona condiciones indeseables.
Microorganismos patógenos	Desechos domésticos.	Causan enfermedades Transmisibles.
Nutrientes	Desechos domésticos e industriales.	Pueden causar eutrofización.

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

Contaminante	Fuente	Importancia Ambiental
Compuestos orgánicos refractarios	Desechos industriales.	Pueden causar problemas de sabor y olor; pueden ser tóxicos o carcinógenos.
Metales Pesados	Desechos industriales, minería, etc.	Son tóxicos, pueden interferir con el tratamiento y reúso del efluente.
Sólidos inorgánicos disueltos	Debido al uso doméstico o industrial se incrementan con respecto a su nivel en el suministro de agua.	Pueden interferir con el reúso del efluente.

Fuente: (Lozano y Orejuela, 2013)

Los tipos de sistemas de tratamiento de aguas residuales se pueden clasificar por el tipo de proceso (Collazos, 2008):

- Procesos físicos: Remoción de Material en suspensión, rejillas, trituradores, sedimentador primario, es pesadores y filtración.
- Procesos químicos: Aplicación de productos químicos para la eliminación o conversión de los contaminantes. Precipitación, adsorción y desinfección.
- Procesos biológicos: Se llevan a cabo gracias a la actividad biológica de los microorganismos. Eliminación de las sustancias orgánicas biodegradables presentes, eliminación del Nitrógeno y Plomo y producción de gases.

También pueden ser clasificados por grado del tratamiento (Collazos, 2008):

Preliminares: Se basa en acondicionar el agua residual para facilitar los tratamientos posteriores y evitar taponamientos en el proceso; utilizando equipos como rejas, tamices, desenredadores, desengrasantes y filtros; los procesos más comunes son: cebado, Tamices estáticos, Trituradores, Desenredadores y Homogenización.

Tratamientos primarios (tratamiento físico y químico): su objetivo principal es la reducción de los sólidos en suspensión del agua residual. Los procesos más frecuentes son: Sedimentación, flotación y coagulación.

Tratamientos secundarios (tratamiento biológico): Se emplea para eliminar la contaminación orgánica disuelta y de sólidos suspendidos que no son removidos en los procesos anteriores; en tratamientos como sistema de biomasa en suspensión (Lodos activados), sistema de biomasa adherida.

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

Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Urbanas o Municipales

Son estructuras a gran escala o pequeña escala encargadas de remover los contaminantes contenidos en el agua proveniente de los domicilios, oficinas y comercio; a estos lugares también llegan provenientes del sector industrial, pero éstas deben tener un tratamiento previo.

Estas plantas además de los tratamientos con anterioridad, presentan etapas finales adicionales para aumentar la calidad del agua antes de ser descargados al ambiente (ríos, mares, lagos), éstos son denominados tratamientos terciarios y pueden ser: filtración por arena; lagunaje, humedales artificiales, desinfección entre otros.

Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales.

Al igual que las plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas su función principal es remover los contaminantes contenidos en el agua; al ser el resultado de procesos industriales, ocasionalmente contienen contaminantes que pueden generar un gran impacto ambiental como: contaminación de los ríos y quebradas cercanos, problemas de salubridad, contaminación atmosférica, colapso del sistema de drenaje urbano (Marín, Chinga, Velásquez, González y Rodríguez 2015).

Las PTARI son implementadas antes de la depositación de efluentes en la red municipal o para reutilización en los procesos donde el ciclo de trabajo lo permita, de esta forma minimizando el consumo proveniente de la red de acueducto. Así mismo sus sistemas y componentes varían según la necesidad de la industria, sin embargo, se rigen por la estructura comprendida por los tratamientos preliminares, primarios y secundarios (A. Rodríguez, P. Letón, R. Rosal, M. Dorado, S. Villar, J. M. Sanz, 2006).

En la Figura 1 se presenta el diagrama de tubería e instrumentos de la planta PTARI del datacenter de Bancolombia. La descripción del proceso actual se detalla a continuación:

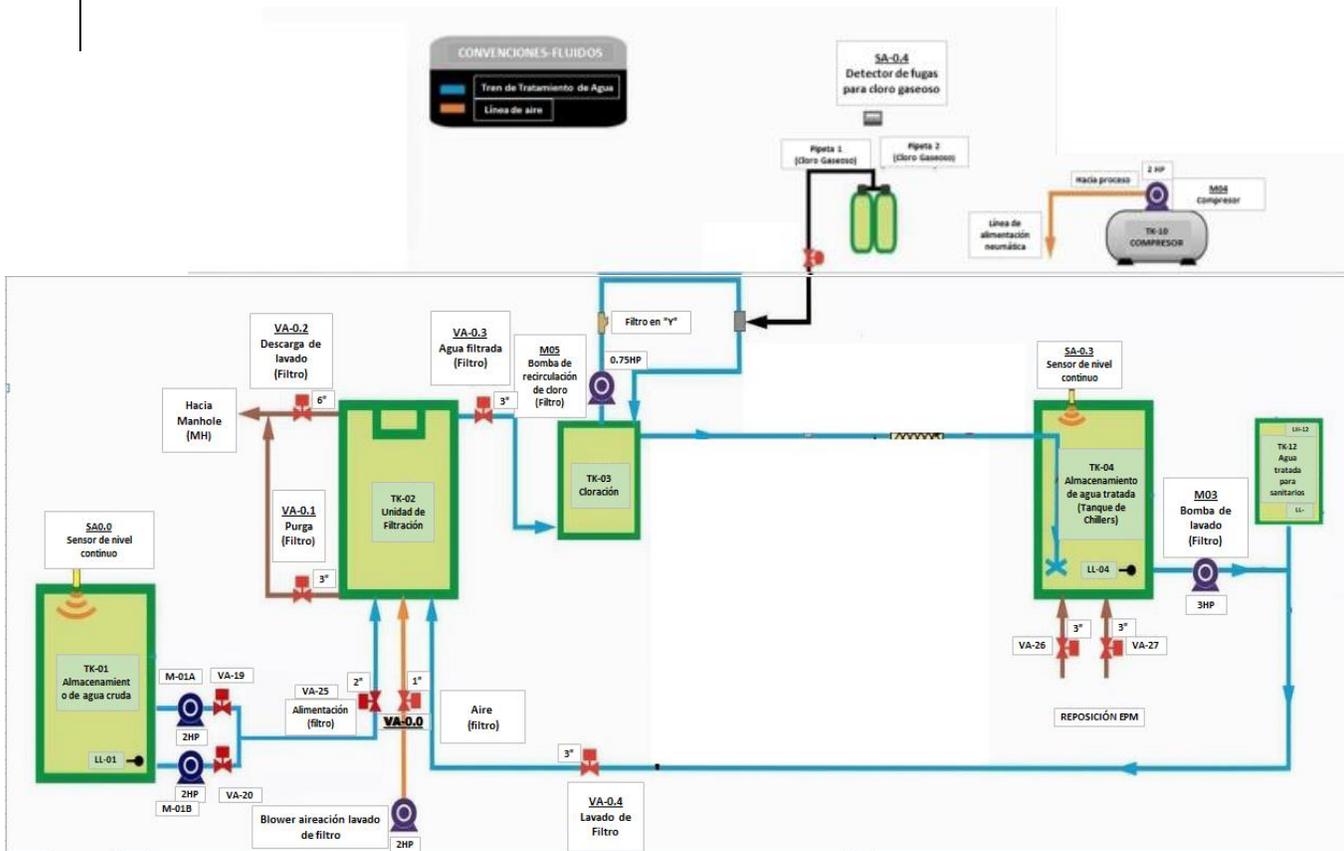


Figura 1. Diagrama actual de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales PTARI del datacenter de Bancolombia.

Fuente: Manual de Operación Planta de tratamiento PTARI datacenter Bancolombia.

Tanque de agua cruda (TK-01)

Al tanque de agua cruda (TK-01) llegan las aguas de condensado de los equipos de aire acondicionado aproximadamente entre 135 y 150 m³/día. A este tanque también llegan las aguas lluvias que deberán ser tratadas para entregar finalmente alrededor de 30 m³/día al sistema final (Torres de enfriamiento). En el tanque TK-04 se mide el nivel continuo (SA-00) de agua mediante un sensor ultrasónico, también el nivel puntual (LL-01 y LL-02) en dos de los compartimientos, esto para la protección de las bombas que succionan del tanque, en caso que se tenga que aislar uno de estos, para efectos de mantenimiento.

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

El agua se entrega desde (TK-01) hacia la unidad de filtración (TK-02) mediante una de las dos bombas de alimentación instaladas (M-01A y M-01B), estos equipos son bombas eléctricas tipo autocebante, de 2.0 HP. Un variador de velocidad (V1) regula directamente las bombas M-01A y M-01B como mecanismo para controlar el caudal de diseño que llega al filtro, haciendo la operación energéticamente eficiente.

Las bombas M-01A y M-01B, cuentan cada una con una válvula automática (VA-19 y VA-20 respectivamente), estos dispositivos son los encargados de alternar de forma automática o manual, la hidráulica de descarga de estas bombas. Las bombas M-01A y M-01B, cuentan cada una con una válvula manual en la parte de la succión, como mecanismo para permitir el mantenimiento de las mismas.

Unidad de filtración (TK-02)

A la unidad de filtración (TK-02) llega el agua (condensadas y/o lluvias) proveniente del tanque (TK-01) a través de una tubería aérea en PVC-P de 2 in; sobre esta línea hidráulica hay instalada una válvula automática (VA-25) que permite el paso del agua de alimentación al filtro (TK-02).

La válvula automática (VA-04) permite el ingreso de agua tratada para el proceso de lavado automático de la unidad de filtración (TK-02), esta operación la realiza la bomba de lavado del filtro (M-03) la cual proporciona el caudal necesario para realizar el correcto lavado de la unidad de filtración, el flujo deseado es controlado ajustado mediante un variador de velocidad (V4).

Del mismo modo hay una válvula de entrada de aire (VA-00) que permite la inyección de aire proveniente del “blower” (M-02) para proporcionar un mejor y económico lavado a la unidad de filtración (TK-02). El equipo soplador (M-02) es controlado mediante un variador de velocidad (V2) como mecanismo para brindar el caudal de aire deseado.

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

Tratamiento, medición y/o control

La unidad de filtración (TK-02) no realiza ningún proceso químico, pero realiza el proceso de filtración del agua cruda mediante el paso ascendente por gravas y arenas de diferentes tamaños que permiten retirar físicamente las partículas de polvo, hollín, etc.

El agua se entrega desde el tanque (TK-01) hacia la unidad de filtración (TK-02) mediante una de las bombas de alimentación principal (M-01A / M-01B). Cuando se inicia el ciclo de tratamiento, el sistema de control abre la válvula automática (VA-25) que permiten el paso del agua de entrada que alimenta al filtro (TK-02) y abre la válvula automática (VA-03) de salida del filtro hacia el tanque de recirculación de cloro (TK-03).

Una vez el tanque de almacenamiento de agua tratada (TK-04) se encuentre lleno mediante la medición del sensor de nivel continuo (SA-03), automáticamente el sistema de control detiene el ciclo de tratamiento, es decir, apaga la bomba de alimentación principal (M-01A / M-01B), cierra la válvula automática (VA-03) de salida de agua filtrada y cierra la válvula (VA-25) de alimentación al filtro.

El agua filtrada en (TK-02) es conducida hacia el tanque de cloración (TK-03) por gravedad, el ingreso es controlado, mediante la válvula automática (V-04). La unidad (TK-02) cuenta con una salida de aguas de lavado, las cuales se evacuan en el “manhole” (MH) mediante una válvula automática (V-05). Del mismo modo, la unidad (TK-02) cuenta con una salida de enjuague, la cual se evacua en el “manhole” (MH) mediante una válvula automática (V-06).

Tanque de Cloración (TK-03)

Al tanque de cloración (TK-03) llega el agua filtrada proveniente de la unidad (TK-02). Haciendo uso de las bombas (M-05A / M-05B) se induce una recirculación en (TK-03) la cual a través de un Venturi genera una succión, que facilita la dosificación de cloro gaseoso.

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

Tratamiento, medición y/o control

El tanque de cloración (TK-03) busca homogenizar y garantizar un tiempo de contacto adecuado para que el cloro efectúe el proceso de desinfección. Posteriormente se entrega al tanque (TK-04) el agua tratada, garantizando con un control On-Off, un residual de cloro aproximado entre 2 o 3 mg/l, para la permanencia de la desinfección en el tiempo.

El agua es entregada por gravedad desde el tanque de cloración (TK-03) hacia el tanque de agua tratada (TK-04). Sobre la línea hidráulica se encuentra un equipo analizador de cloro residual (AT-01) que proporciona la dosificación de cloro gaseoso.

Tanque de Agua Tratada (TK-04)

Al tanque (TK-04) llega el agua tratada después de haber pasado por la unidad de filtración y habiéndole realizado un proceso de desinfección. El tanque de agua tratada (TK-04) tiene una entrada de agua de acueducto E.P.M, la cual es controlada a través de las válvulas automáticas (VA-26 y VA-27) que permiten si es necesario la entrada de agua.

En este tanque se mide el nivel continuo (SA-03) de agua mediante un sensor ultrasónico y se mide el nivel puntual (LL-04A y LL-04B) para la protección de las bombas que succionan del tanque. El tanque de agua tratada (TK-04) debe entregar 30 m³/día, por lo tanto, cuando el sistema de control no puede tratar agua para proporcionar la cantidad deseada, el sistema de automatización da la orden para abrir las válvulas automática (VA-26 y VA-27) de reposición de agua de acueducto E.P.M y complementar el volumen que hace falta en el tanque de agua tratada (TK-04).

El principal proceso del tanque (TK-04), es garantizar el suministro de agua al sistema de reposición de agua a las torres de enfriamiento.

Sistema de Cloro Gaseoso (TK-06) y (TK-07)

Para el proceso actual se tienen 2 pipetas de cloro gaseoso, cuando se acaba el producto de cloro gaseoso de la pipeta 1 por ejemplo (TK-06), el operario debe retirar el cilindro vacío y pasar a trabajar el sistema de cloro gaseoso de la pipeta 2 (TK-07).

En operación normal, se enciende automáticamente una de las bombas de recirculación de cloro (M-05A, M-05B), e inmediatamente el fluido del proceso pasa a través de un eyector a determinada presión de trabajo, creando un efecto de succión el cual está conectado al sistema de cloro gaseoso

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

de la pipeta 1 (TK-06); la cantidad de cloro se dosifica de forma automática mediante una bomba dosificadora On-Off controlada por la medición del equipo analizador de cloro residual (SA-01) que se encuentra sobre la salida hidráulica del tanque de cloración (TK-03).

En la parte superior de los cilindros del sistema de cloro gaseoso hay un sensor de detección de fugas de cloro que permite dar la señal al sistema de control y emitir la alarma. Está señal es la encargada de accionar el sistema de extracción de cloro.

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

3. METODOLOGÍA

La metodología implementada es la metodología DMAIC, basada en un ciclo que facilita la planeación, análisis y desarrollo de las soluciones a un problema. El ciclo se define así:

1. **DEFINIR:** se define el problema, el alcance del proyecto y los beneficios económicos esperados.
2. **MEDICIÓN:** se miden las variables a monitorear durante el proyecto.
3. **ANÁLISIS:** se evalúan las causas raíces del problema y se definen hipótesis para validar la solución.
4. **IMPLEMENTAR:** Hacer realidad las soluciones propuestas.
5. **CONTROLAR:** hacer listas de chequeo y medición constante de las variables para observar el alcance y desenlace del proyecto.

Las etapas 4 y 5 de la metodología DMAIC (implementar y controlar respectivamente), son la evidencia aplicativa y efectiva del proyecto, momento en que se demuestran resultados convincentes o debates ante posibles problemas que requieran ser solucionados eficientemente.

En la Figura 2 se puede apreciar en forma esquemática la metodología DMAIC y una breve descripción de cada etapa:

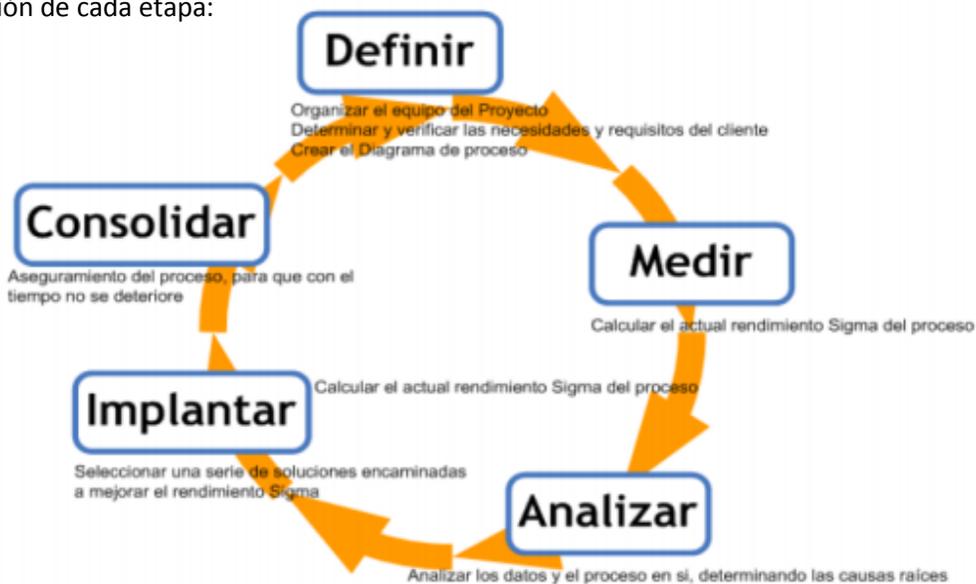


Figura 2. Etapas DMAIC

Fuente: <http://www.lean-sigma.es/six-sigma.php>

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

DEFINICIÓN:

Al inicio del proyecto la operación de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales PTARI del datacenter de Bancolombia la cual suministra agua tratada para el sistema de enfriamiento de la planta de agua helada de las torres de enfriamiento presentó las siguientes situaciones:

- Afectación del estado de los condensadores de los chiller y por ende la eficiencia en la transferencia térmica de este enfriador, debido a las incrustaciones que se presentan por sedimentos que se adhieren a las superficies de los materiales constitutivos del equipo (reellenos o serpentines, paredes interiores, ventiladores a los que lleguen las salpicaduras, etc.). Se trata en su mayor parte de sales de calcio o magnesio y esto depende de la calidad del agua que se suministra. Este tipo de incrustaciones representan una disminución considerable en la eficiencia del intercambio térmico. La manera de mejorar la calidad del agua es controlando los ciclos de concentración o sólidos disueltos en el agua, esto se logró con el diseño de un algoritmo de medición y control de conductividad que, de acuerdo a su intervalo parametrizado, controla una válvula automática para drenar el agua concentrada y así lograr tener la conductividad entre los intervalos permisibles para este proceso (1000 μ microSiemens/centímetro – 1500 μ microSiemens/centímetro).
- Alto riesgo para la vida y la salud de las personas por el uso de cloro gaseoso, ya que al ser inhalado o tener contacto con este gas puede causar quemaduras en la piel y los ojos, además de bronquitis o condiciones pulmonares crónicas. Para eliminar este riesgo, se reemplazó el sistema de cloración gaseoso por un sistema de cloración líquido, y la dosificación se controló por medio de una bomba dosificadora proporcional comandada por un control PID.
- Presencia de corrosión en las tuberías y pérdida de grandes volúmenes de agua purgada debido a la inestabilidad del PH. Para mitigar este riesgo, se acondicionó un dosificador de soda caustica el cual es controlado por medio de un control PID a través de la medición de un sensor de PH y la manipulación de una bomba dosificadora, con el fin de garantizar el PH del agua entre el intervalo permisible (8 – 8,5) para este proceso industrial.
- Bajos indicadores de disponibilidad y confiabilidad del sistema, debido a la obsolescencia del autómatas programable, el cual fue reemplazado por un PLC moderno que cuenta con los módulos de señales análogas necesarias para la integración de la instrumentación y programación de los controles PID.

Además de definir el problema se determinó el alcance del proyecto y que beneficios se lograron más allá de resolver el problema planteado (económicos, versatilidad del proceso, etc.), por esto se definieron los siguientes objetivos:

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

Objetivo General

Diseñar un sistema de control automático para el proceso de una planta de tratamiento PTARI a fin de mejorar la calidad del agua utilizada en el sistema de enfriamiento de agua helada del datacenter de Bancolombia.

Objetivos Específicos

-Implementar un sistema automatizado de dosificación de soda caustica que garantice el control del PH del agua entre los parámetros recomendables para el proceso.

-Diseñar un sistema de control de conductividad automatizado que garantice los ciclos de concentración del agua entre los parámetros recomendables para el proceso.

-Cambiar la dosificación de cloro gaseoso por un sistema de cloración líquido automático más seguro y confiable para eliminar el riesgo de la salud de las personas.

- Diseñar en interfaz gráfica HMI para el monitoreo y control remoto de los procesos de la planta de tratamiento.

-Reemplazar el autómeta programable obsoleto por un dispositivo de control más confiable y con mayor capacidad para integrar todas las señales necesarias para la implementación de la instrumentación.

MEDICIÓN:

Con el fin de conocer la calidad del agua que se está suministrando a la planta de agua helada, se tomó una muestra de agua en el anillo de condensados que suministra hacia el condensador del chiller, y se enviaron al laboratorio del fabricante para su análisis fisicoquímico.

La Figura 3 muestra el punto de prueba donde se realizó la medición en el anillo de condensador (ver recuadro rojo).

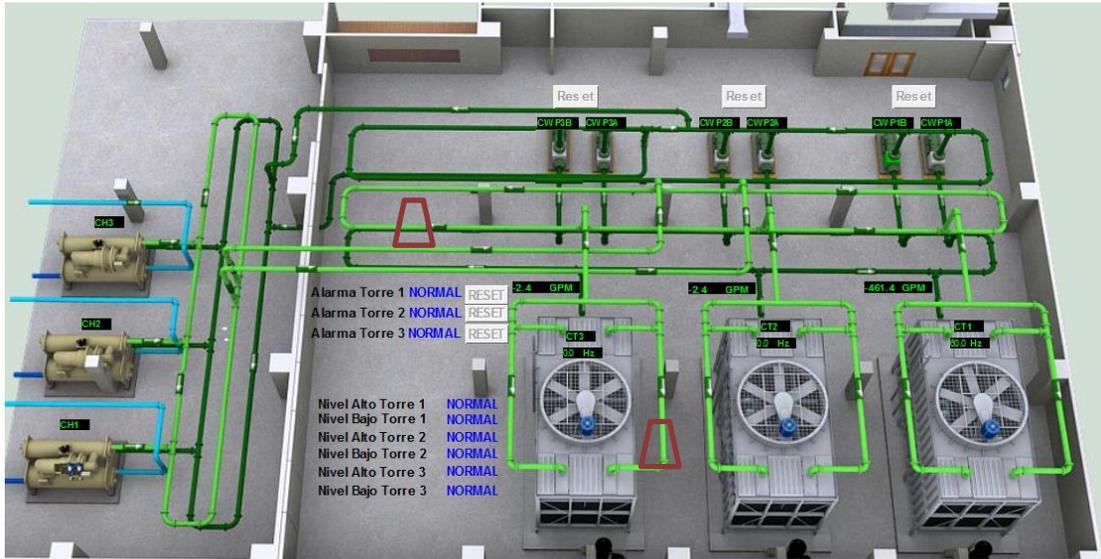


Figura 3. Diagrama de la planta de agua helada del datacenter de Bancolombia indicando punto de muestreo para análisis físico químico del agua del anillo de condensados.
Fuente: Elaboración propia.

ANALISIS:

De acuerdo a este resultado y del impacto de estas condiciones fisicoquímicas en el sistema, es decir en la planta de agua helada (Torre de enfriamiento, tubería, chiller de enfriamiento y eficiencia del mismo), se definieron los rangos de control (setpoints) o los parámetros ideales de cada variable de acuerdo a las recomendaciones del fabricante.

Tabla 2. Resultado de análisis fisicoquímico al agua del anillo de condensados de la planta de agua helada del Datacenter de Bancolombia.

PARAMETRO A ANALIZAR	TORRE 1 CVHF	SUMINISTRO CVHF	PARAMETRO RECOMENDADO
PH	5,5	5,0	8.5 – 9.5
DUREZA	600 ppm	120 ppm	< 30 ppm
ALCALINIDAD	210 ppm	170 ppm	180 ppm– 700 ppm
CONDUCTIVIDAD	1659 uS	3140 uS	< 2.300 uS
SOLIDOS TOTALES DISUELTOS	1185 ppm	224 ppm	< 3600 ppm
HIERRO	1,2 ppm	0,0 ppm	1,0 ppm
RESIDUAL DE CLORO	2, 5 ppm	2, 1 ppm	1,0 ppm – 1,5 ppm
CLORUROS	250 ppm	160 ppm	< 250 ppm

Fuente: Análisis y laboratorios TRANE.

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

En la Tabla 2 se muestran los resultados obtenidos y los parámetros recomendados a partir de la toma de muestras de agua por parte del personal técnico de Trane S.A a las torres de enfriamiento y suministro de agua para los chillers tipo CVHF (Enfriador con compresor tipo centrifugo).

De acuerdo a los resultados obtenidos en los análisis fisicoquímicos y basado en las recomendaciones del fabricante de la planta de agua helada (ver Figura 4) en cuanto a la calidad del agua en el anillo de condensado, se implementaron los controles que se presentan en la sección 4.



ANÁLISIS RESULTADOS

- Agua sin Tratamiento para equipos industriales. Agua no apta para este tipo de sistemas.
- Valor del pH muy bajos, el medio es muy corrosivo, lo que genera procesos de oxidación y corrosión.
- Los niveles de dureza elevados, suponen que dentro del equipo se están formando volúmenes apreciables de incrustaciones de Ca y Mg. Disminuye la transferencia de calor y pierde eficiencia los equipos, deberán evaluarse el volumen y espesores de las incrustaciones
- Contenido de Hierro cero
- Se recomienda realizar tratamiento al agua de refrigeración. Igualmente determinar la presencia de las incrustaciones y eliminarlas, mediante lavado químico.

Figura 4. Conclusiones y recomendaciones del fabricante de acuerdo a los resultados de análisis fisicoquímico al agua del anillo de condensados de la planta de agua helada del Datacenter de Bancolombia.

Fuente: Análisis y laboratorios TRANE.

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

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

IMPLEMENTAR:

Luego de conocer los resultados de los análisis fisicoquímicos y los parámetros recomendados por el fabricante de la planta de agua helada (ver Figura 4), se procedió a desarrollar la etapa de solución para dar cumplimiento a los objetivos de este proyecto:

- 1. Implementación del sistema automatizado de dosificación de soda caustica que garantizó el control del PH del agua entre los parámetros recomendables para el proceso (De acuerdo con la recomendación del fabricante (8-8,5).**

Sobre la línea hidráulica a la entrada del tanque TK-03 se instaló un electrodo (SA-0.2) (Ver Figura 5) encargado de la medición y control del nivel de pH entre 8 - 8,5; dos bombas dosificadoras proporcionales (BD-01 / BD-02) (Ver Figura 5) encargadas de la dosificación de soda caustica que ajustan el PH del agua que se entrega al tanque (TK-04) y posteriormente a las torres de enfriamiento y al anillo de condensados hacia el chiller.

En la Figura 5 se puede apreciar los equipos instalados para este proceso: Sensor de PH marca HACH, modelo SC-100, controlador con encerramiento de Metal con acabado resistente a la corrosión NEMA 4X/IP66 (ver ficha técnica apéndice F); las bombas dosificadoras de soda caustican tipo electromagnética a diafragma, marca ETATRON D S ITALY 5 L/H PRESION 5 BAR (ver ficha técnica apéndice G).

Entradas de proceso

A los tanques dosificador (TK-05 y TK-06) llega agua limpia para realizar la preparación del producto químico, este paso se da mediante la bomba de lavado (M-03) y dos válvulas automáticas (VA-05 y VA-06) que permiten el paso del agua, hasta que se obtenga el nivel máximo de los tanques, éste es controlado por dos sensores de nivel puntual (LL-05 y LL-06) respectivamente.

El producto químico de NaOH se usa en su presentación solida con una concentración del 99% y que un operario debe agregar hasta obtener una concentración de solución del 0.2%, lo que equivale a disolver 1 Kg de NaOH (99%) en 500 litros de agua (capacidad máxima) en cada uno de los tanques (TK-05 y TK-06).

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



Figura 5. Sistema de control automático de PH de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales PTARI del Datacenter de Bancolombia.

Fuente: Elaboración propia.

Tratamiento

En los tanques (TK-05 y TK-06) se mide el nivel puntual mínimo con los sensores (LL-05 y LL-06), que envían una señal de control de mando central y/o al operario que debe realizar nuevamente la preparación de producto químico. Al darse la señal de vacío de uno de los tanques, el operario debe como primera medida, accionar desde la pantalla de control, la orden de llenado del respectivo tanque y seguidamente adicionar paulatinamente la cantidad de soda proporcional.

Salidas de proceso

Las bombas dosificadoras de NaOH **BD-01 / BD-02** inyectan producto químico previamente preparado NaOH, directamente en la línea de recirculación del tanque de contacto (TK-03) en el cual se da una homogenización de la mezcla de productos y la dosificación es controlada de forma automática mediante el valor de pH dado por el sensor (SA-0.2) ubicado en la entrega de agua tratada hacia el tanque de reserva (TK-04).

En la Figura 6 Desde el HMI se puede apreciar la planta PTARI con el sistema de dosificación y control de PH con sus respectivos elementos anteriormente mencionados.

En la Figura 6.A se visualiza la medición del sensor de PH ente el rango recomendado por el fabricante (ver circunferencia roja). En la Figura 6.B se visualiza la parametrización del rango de control del PH de acuerdo con la recomendación del fabricante (ver recuadro verde).

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

De acuerdo con lo anterior, se logró controlar el PH del agua tratada con la correcta dosificación de soda caustica, con lo cual se mitiga el riesgo de presencia de corrosión en las tuberías del anillo de condensado y pérdida de grandes volúmenes de agua purgada debido a la inestabilidad del PH.

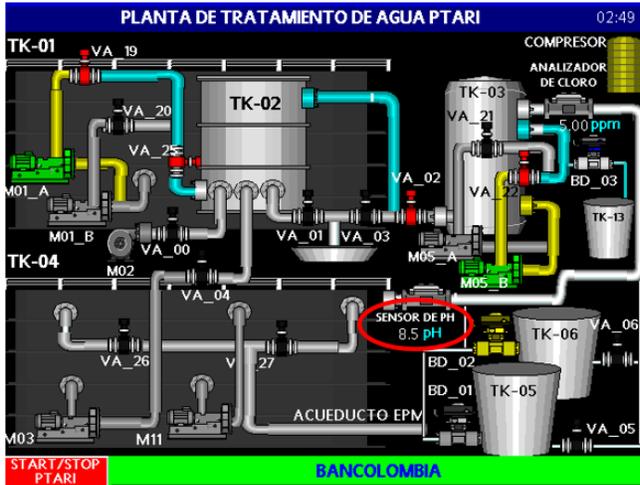


Figura 6.A



Figura 6.B

Figura 6. Esquema HMI del sistema automático de dosificación de PH de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales PTARI del datacenter de Bancolombia.

Fuente: Elaboración propia.

2. Diseño del sistema de control de conductividad automatizado que garantizó los ciclos de concentración del agua entre los parámetros recomendables para el proceso (De acuerdo con la recomendación del fabricante menor a 2300 microSiemens/centímetro)

Sobre la línea hidráulica a la salida del tanque TK-04 se instaló un sensor de conductividad (SA-06) (ver Figura 7) encargado de la medición y control del nivel de la conductividad entre los rangos permisibles para este proceso (1000 microSiemens/centímetro – 1500 microSiemens/centímetro); una válvula automática (VA24) (ver Figura 7) encargada de la purga de los ciclos de concentración o solidos disueltos en el agua que se suministra a las torres de enfriamiento y al anillo de condensados hacia el chiller.

En la Figura 7 se puede apreciar los equipos instalados para este proceso: El sensor de conductividad marca HACH, modelo SC200, tipo inductivo con rango de medición de 200 a 2.000.000 micro Siemens/cm. (ver ficha técnica apéndice D). La válvula electroneumática VA24 marca Bray, tipo mariposa en acero inoxidable 316, diámetro 2”, actuador neumático a 150 psi de presión de trabajo, con monitor de estado (ver ficha técnica apéndice E).

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

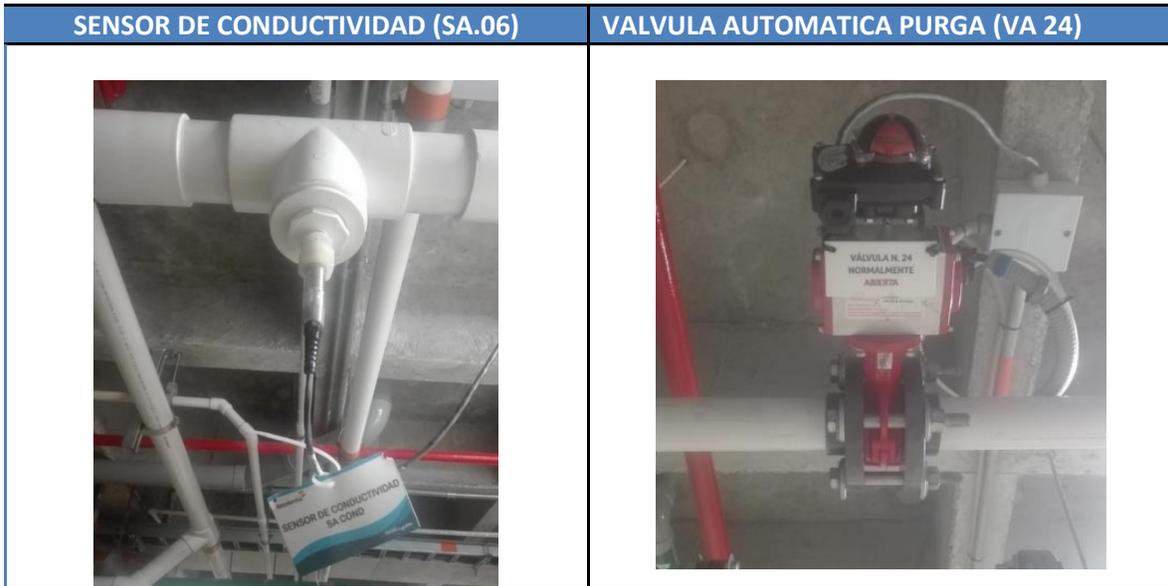


Figura 7. Sistema de control automático de conductividad de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales PTARI del datacenter de Bancolombia.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 8 se visualiza la medición del sensor de conductividad ente el rango recomendado por el fabricante (ver circunferencia roja) y la válvula VA 24 cerrada debido a que la medición es menor a 2300 μ Siemens/centímetro. Asi se controlaron los ciclos de concentración del agua del anillo de condensado entre el rango recomendado por el fabricante (4-7 ciclos), evitando asi la incrustación de los condensadores de los chiller y serpentines de las manejadoras de aire, y aumentando la eficiencia del intercambio térmico.

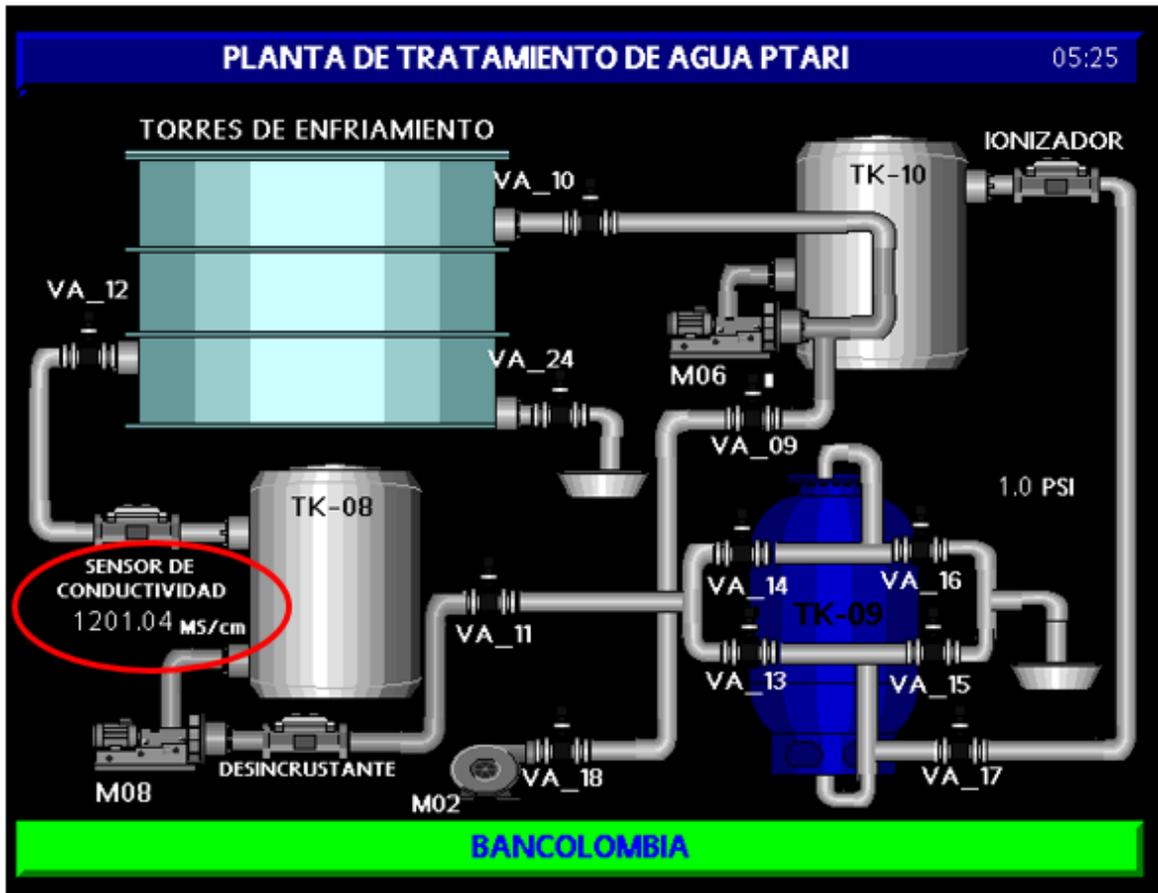


Figura 8. Esquema HMI del sistema automático de control de conductividad de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales PTARI del datacenter de Bancolombia.

Fuente: Elaboración propia.

3. Cambio de la dosificación de cloro gaseoso por un sistema de cloración líquido automático más seguro y confiable para eliminar el riesgo de la salud de las personas.

Sobre la línea hidráulica de recirculación del agua del TK-04 se instaló un equipo analizador de cloro residual SA-01 (ver Figura 9) que proporciona la medición y control de la dosificación de cloro líquido por medio de una bomba dosificadora BD-03 (ver Figura 9) que ajustan el residual de cloro a 1 ppm, esto con el fin de garantizar la correcta desinfección del agua.

En la Figura 9 se puede apreciar los equipos instalados para este proceso: El analizador de cloro marca Injecta, modelo Helios.05, tipo medición solución buffer (ver especificaciones Apéndice H). La bomba dosificadora de hipoclorito marca Injecta, modelo athena.BX, tipo electromagnética, IP 65 (ver especificaciones Apéndice I).

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

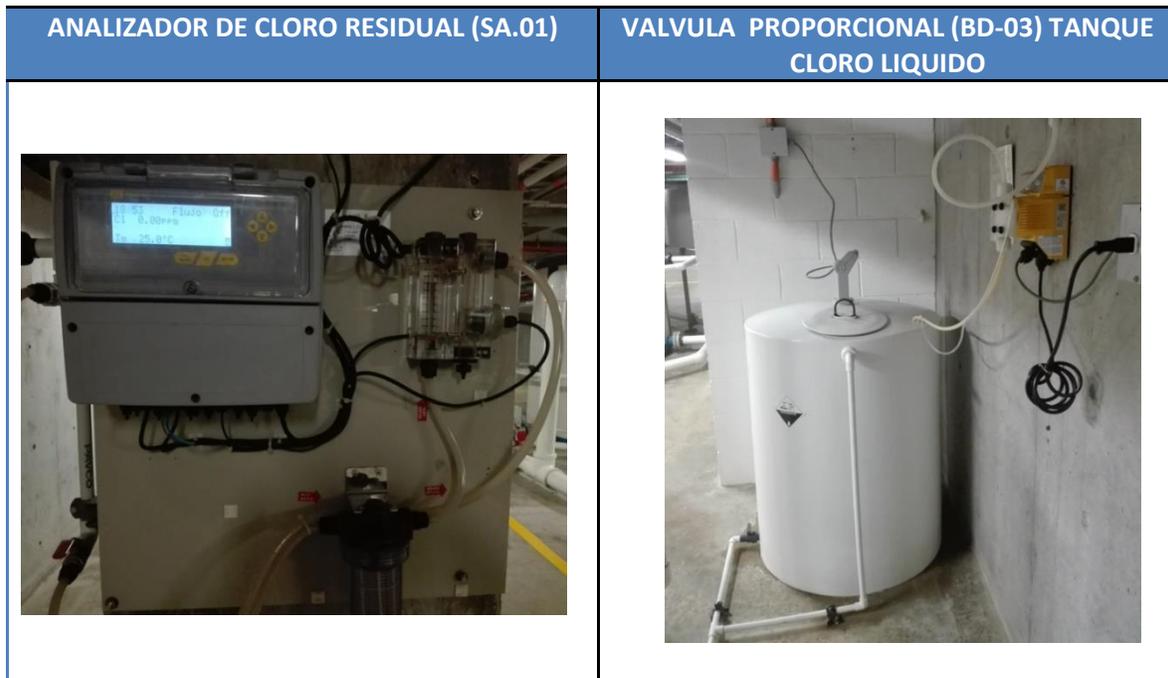


Figura 9. Sistema de control automático de dosificación de cloro de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales PTARI del datacenter de Bancolombia.

Fuente: Elaboración propia.

Entradas de proceso

Al tanque de cloración (TK-03) llega el agua filtrada proveniente de la unidad (TK-02). Haciendo uso de las bombas (M-05A / M-05B) se induce una recirculación en (TK-03) la cual a través de un Venturi genera una succión, que facilita la dosificación de cloro líquido.

Tratamiento, Medición y/o control

El tanque de cloración (TK-03) busca homogenizar y garantizar un tiempo de contacto adecuado para que el cloro efectúe el proceso de desinfección. Posteriormente se entrega al tanque (TK-04) el agua tratada, garantizando con un analizador digital, un residual de cloro de 1 PPM, que asegura la permanencia de la desinfección en el tiempo. Adicionalmente y de forma similar el tanque (TK-03), permite la homogenización a la dosificación proporcional de soda caustica que ajusta al pH.

Salidas de proceso

El agua es entregada por gravedad desde el tanque de cloración (TK-03) hacia el tanque de agua tratada (TK-04), donde se almacena el agua posterior a su proceso de tratamiento.

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

En la Figura 10 Desde el HMI se puede apreciar la planta PTARI con el sistema automático de dosificación de cloro con sus respectivos elementos anteriormente mencionados.

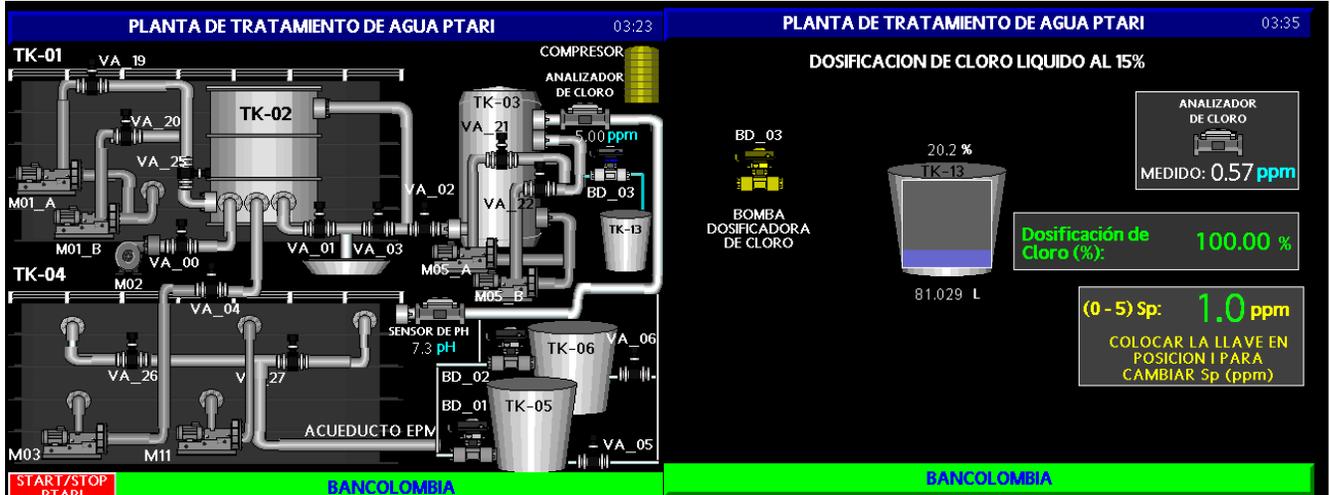


Figura 10. Esquema HMI del sistema automático de dosificación de cloro de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales PTARI del datacenter de Bancolombia.

Fuente: Elaboración propia.

4. Diseño de la interfaz gráfica HMI para el monitoreo y control remoto de los procesos de la planta de tratamiento PTARI.

En la parte frontal del tablero de control y potencia de la planta de tratamiento (ver Apéndice B), se encuentra una pantalla HMI marca redlions de 12”, en la cual se programa la interfaz para la operación y monitoreo del sistema localmente (ver Figura 11.A). A su vez esta se encuentra enlazada a la red LAN del edificio en conjunto con el PLC (ver Apéndice C), esto con el fin de tener monitoreo y control remoto en tiempo real de los procesos de la PTARI.

En la Figura 11.B se puede apreciar que a través del navegador web y con la dirección IP configurada (ver recuadro rojo) se puede tener acceso a dicha interfaz remotamente.

CONTROLAR:

Posterior a las implementaciones, se realiza el seguimiento al comportamiento de las variables para observar el alcance y desenlace del proyecto.

En la Figura 12 se aprecia uno de los chiller del Datacenter de Bancolombia con afectación en el estado de los condensadores debido a las incrustaciones que se presentan por sedimentos que se adhieren a las superficies de los materiales constitutivos del equipo (reellenos o serpentines, paredes interiores, ventiladores a los que lleguen las salpicaduras, etc.).



Figura 11. A

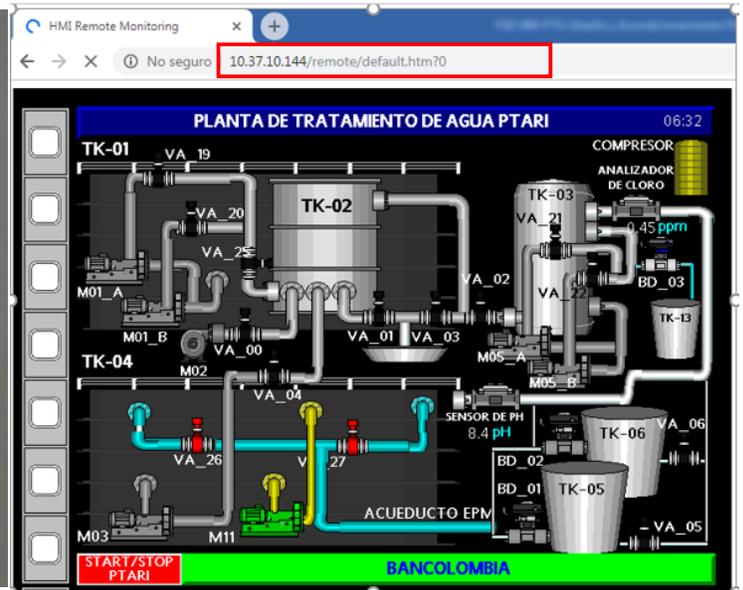


Figura 11. B

Figura 11. Pantalla HMI desde el tablero de control de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales PTARI del Datacenter de Bancolombia.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 12. Imagen del chiller del Datacenter de Bancolombia que presentaba afectación en su condensador.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 12 se aprecia el estado interno de los tubos del condensador del chiller, el material depositado se trata en su mayor parte de sales de calcio o magnesio y este depende de la calidad del agua que se suministra.

En la Figura 13A se evidencia el estado interno del condensador antes de la implementación de las mejoras en el proceso de tratamiento de las plantas de tratamiento de la PTARI; en la Figura 13B se aprecia el estado interno de los tubos del condensador posterior a la implementación de los objetivos de este proyecto.

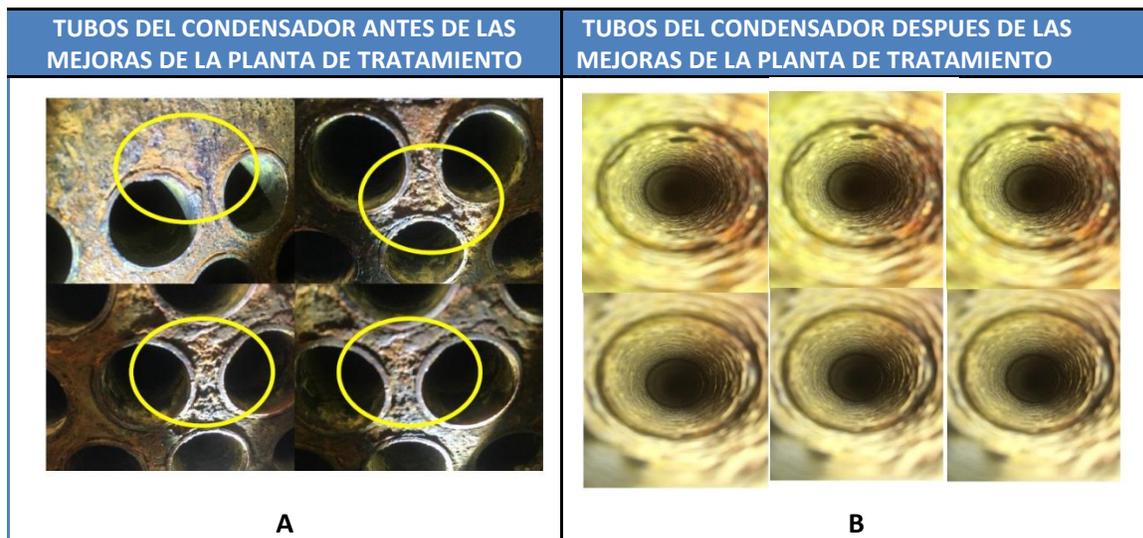


Figura 13. Estado interno del condensador antes y después de las mejoras realizadas en el proceso de tratamiento de la PTARI.

Fuente: Elaboración propia.

Ese tipo de incrustaciones representan una disminución considerable en la eficiencia del intercambio térmico del chiller, la cual es medida por la maquina como **“Temperatura de aproximación o diferencial de temperaturas del condensador”**.

Este parámetro es medido en °F y de acuerdo a las especificaciones técnicas del fabricante, cuando el chiller alcanza una temperatura de aproximación mayor a 5°F, la enfriadora entra en el punto más alto de ineficiencia en el proceso de transferencia térmica, y automáticamente queda fuera de operación; lo cual representa un alto riesgo para la confiabilidad y disponibilidad del Datacenter de Bancolombia.

En la Figura 14 se evidencia el comportamiento de la temperatura de aproximación antes y después de la implementación de las mejoras en el proceso de tratamiento de las plantas de tratamiento de la PTARI.

En la gráfica se puede apreciar que durante los primeros 12 días del mes de octubre de 2018, la temperatura de aproximación del chiller 3 (línea azul), se encontraba en el límite de la temperatura

de aproximación permitida para el proceso de transferencia (línea roja). A partir del 13 octubre de 2018 cuando se inicia el proceso de tratamiento de la PTARI, la temperatura de aproximación disminuye considerablemente (aproximadamente 2 °F) y permanece estable en el tiempo.

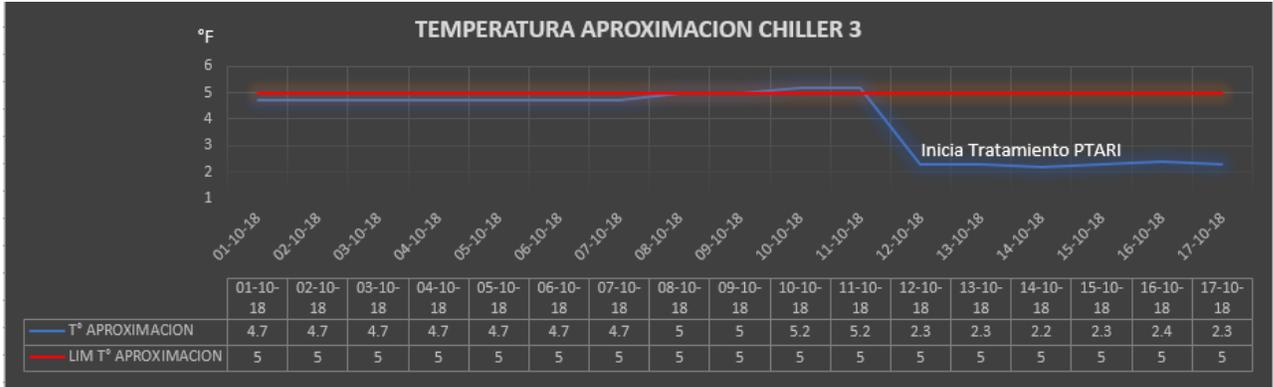


Figura 14. Comportamiento de la temperatura de aproximación en el condensador del chiller antes y después de las mejoras realizadas en el proceso de tratamiento de la PTARI.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 15. Comportamiento actual de la diferencia de temperatura del condensador tomada desde el panel de control del chiller de Datacenter Bancolombia.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 15.A se aprecia una imagen tomada desde el panel de control del chiller del Datacenter de Bancolombia, se puede apreciar los parámetros de funcionamiento del condensador del chiller, entre ellos el valor actual del diferencial de temperaturas del condensador (ver recuadro verde 1.3

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

°F). En la Figura 15.B se puede apreciar que la tendencia del comportamiento del diferencial de temperaturas del condensador se mantiene en el tiempo en 1.4°F aproximadamente (ver línea verde), por lo cual se puede concluir que las mejoras en el proceso de tratamiento de la planta de tratamiento de la PTARI fueron satisfactorias ya que mejoró considerablemente el estado del condensador y por ende la eficiencia en la transferencia de calor del chiller.

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

Se diseñó y se logró implementar un sistema de control automático para el proceso de la planta de tratamiento PTARI a fin de mejorar la calidad del agua utilizada en el sistema de enfriamiento de agua helada del Datacenter de Bancolombia (ver apéndices B a J).

Apartir de la medición y control de la conductividad, se garantizan los ciclos de concentración del agua del anillo de condensado entre el rango recomendado por el fabricante (4 -7 ciclos), evitando así la incrustación de los condensadores de los chiller y serpentines de las manejadoras de aire, y aumentando la eficiencia del intercambio térmico (ver Figuras 8 y 13 a 15).

Con el reemplazo del sistema de dosificación de cloro gaseoso por cloración líquida, se mitigó el riesgo para la vida y la salud de las personas. Además, el control de proliferación de microorganismos en el agua almacenada y suministrada al anillo de condensado del sistema de enfriamiento de agua helada del Datacenter de Bancolombia.

Se logra controlar el PH del agua tratada con la correcta dosificación de soda caústica con lo cual se mitiga el riesgo de presencia de corrosión en las tuberías del anillo de condensado y pérdida de grandes volúmenes de agua purgada debido a la inestabilidad del PH (ver Figura 6).

Se diseñó la interfaz gráfica HMI para el monitoreo y control remoto de los procesos de la planta de tratamiento PTARI (ver Figura 11).

Se aumenta la disponibilidad y confiabilidad de la planta de tratamiento con la renovación tecnológica del autómatas programables, el cual fue reemplazado por un PLC moderno que cuenta con los módulos de señales analógicas necesarias para la integración de la instrumentación y programación de los controles.

Con las mejoras realizadas al proceso de tratamiento de la PTARI se logró garantizar el buen estado del condensador del chiller y por ende una alta eficiencia en la transferencia de calor de esta máquina, aumentando así la confiabilidad y disponibilidad del sistema.

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

A futuro a esta planta de tratamiento de aguas residuales industriales, se le puede implementar un sistema de control de dureza del agua y control de microorganismos por medio de un sistema de ionizadores de cobre y plata, esto con el fin de garantizar que se cumplan con todos los parámetros fisicoquímicos del agua para uso de calderas y anillos de agua helada.

REFERENCIAS

- 1) Empresa Condorchem Envitech. Historia sobre el tratamiento del agua potable. (2010) [citado el 15 de Enero de 2018]. Disponible en www.condorchem.com/.
- 2) Mariya N. Koleva, Craig A. Styan, Lazaros G. Papageorgiou, (2017). Optimisation approaches for the synthesis of water treatment plants. *Computers & Chemical Engineering*. 106. 849-871.
- 3) Lozano, J., Orejuela, M., (2013). Sistemas de plantas de tratamiento de aguas residuales en Colombia, Especialización, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Medicina, Bogota, Colombia.
- 4) Mara, (1976). Aguas Residuales y Tratamiento de Efluentes Cloacales. Tratamiento de efluentes, caracterización, generalidades, definición y origen.
- 5) Acuatecnica S.A.S, Tipos de plantas de tratamiento de agua potable. (2016) [citado el 18 de enero de 2018] Disponible en www.acuatecnica.com/tipos-plantas-tratamiento-agua-potable/.
- 6) J.C. Marín Leal, C.A. Chinga Panta, A.I. Velásquez Ferrín, P.A. González Cabo, L.M. Zambrano Rodríguez. (2015). Tratamiento de aguas residuales de una industria procesadora de pescado en reactores anaeróbicos discontinuos. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 25 (1), pp. 27 – 42.
- 7) C.J. Collazos. (2008). Tratamiento de aguas residuales domesticas e industriales. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia.
- 8) A. Rodríguez, P. Letón, R. Rosal, M. Dorado, S. Villar, J. M. Sanz (2006). Tratamientos. Avanzados de aguas residuales industriales, Informe de Vigilancia tecnológica, Madrid, España.
- 9) Metcalf & Eddy. (1995). Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización, McGraw-Hill.
- 10) EPA (United States Enviromental Protection Agency), (1999). Folleto informativo de tecnología de aguas residuales, Desinfección con cloro. Washington D.C, USA.
- 11) K.A. Christman. CHLORINE, Chlorine Chemistry Council, Arlington, VA, USA.

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

12) M. A. Abdel-Fataha, H.O.Sherifb, S.I.Hawasha, (2016). Design parameters for waste effluent treatment unit from beverages production. Ain Shams Engineering Journal.

13) S. Dubey, M Agarwal, A.B. Gupta, R. Kumar Dohare, S. Upadhyaya, (2017). Automation and control of water treatment plant for defluoridation.

14) Automatic Chlorination Controller Systems [Citado el 15 de Febrero de 2018]. Disponible en: <http://www.lonzawatertreatment.eu/products/water-treatment-equipment/automatic-chlorination-controller-systems>.

APÉNDICE

APENDICE A

CRONOGRAMA DEL PROYECTO

CRONOGRAMA SEMANAL DE ACTIVIDADES - PARTE 1												
Metas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. Definición del problema, búsqueda de literatura asociada con los procesos de tratamiento de aguas residuales												
2. Definir indicadores claves del proceso e identificar necesidades del proceso												
3. Diseñar las adecuaciones físicas de la planta de tratamiento para la implementación de la instrumentación.												
4. Diseñar el sistema de control automático para la integración de los sensores de medición y control de variables físico-químicas.												
5. Solicitud de cotizaciones de la instrumentación y el autómata programable.												
6. Análisis de costos y aprobación de las cotizaciones.												
7. Instalar nuevo autómata programable e instrumentación de medición y control.												
8. Reportar avances												
9. Programar el autómata programable y pantalla HMI.												

CRONOGRAMA SEMANAL DE ACTIVIDADES- PARTE 2												
Metas	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
10. Realizar pruebas de funcionamiento de los sistemas de control.												
11. Realizar análisis físico químico para comparar las mediciones de los instrumentos de PH, Cloro y conductividad.												
12. Comisionamiento del sistema. – es decir Revisión, verificación y realización de pruebas al sistema.												
15. Reportar avances												

17. Evaluar beneficios de la automatización y aspectos a mejorar (plan de acción)												
18. Realizar correctivos o mejoramientos												
20. Capacitar al personal encargado de operar y monitorear el sistema.												
21. Presentar los logros del proyecto e informe final.												

APENDICE B

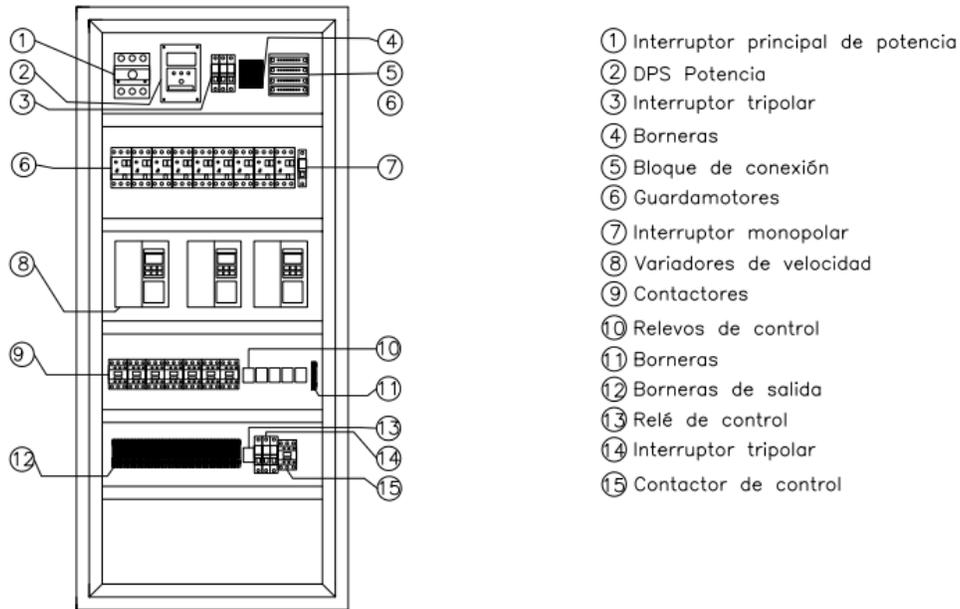
TABLERO DE CONTROL Y POTENCIA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO



APENDICE C

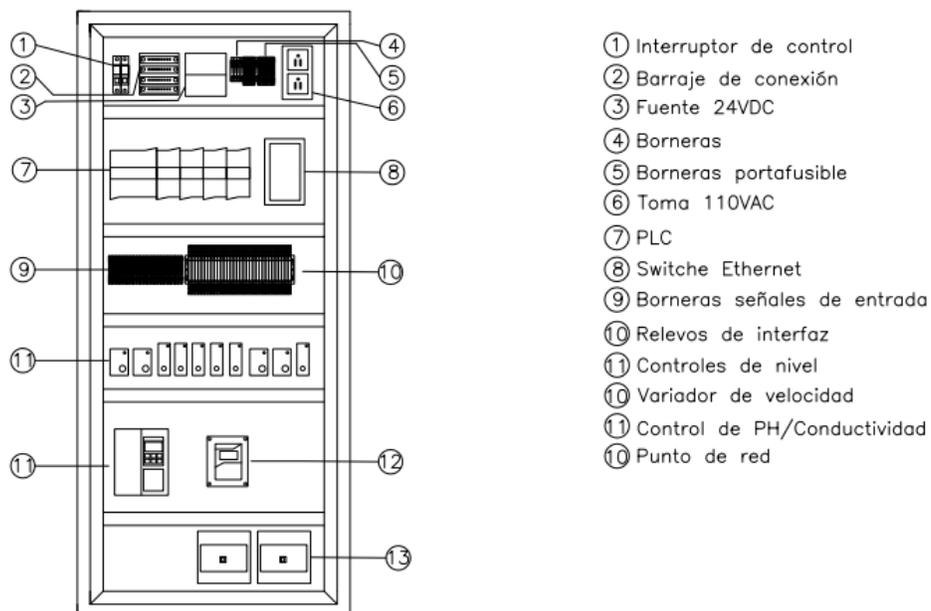
PLANO TABLERO DE POTENCIA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

Vista Frontal tablero de potencia

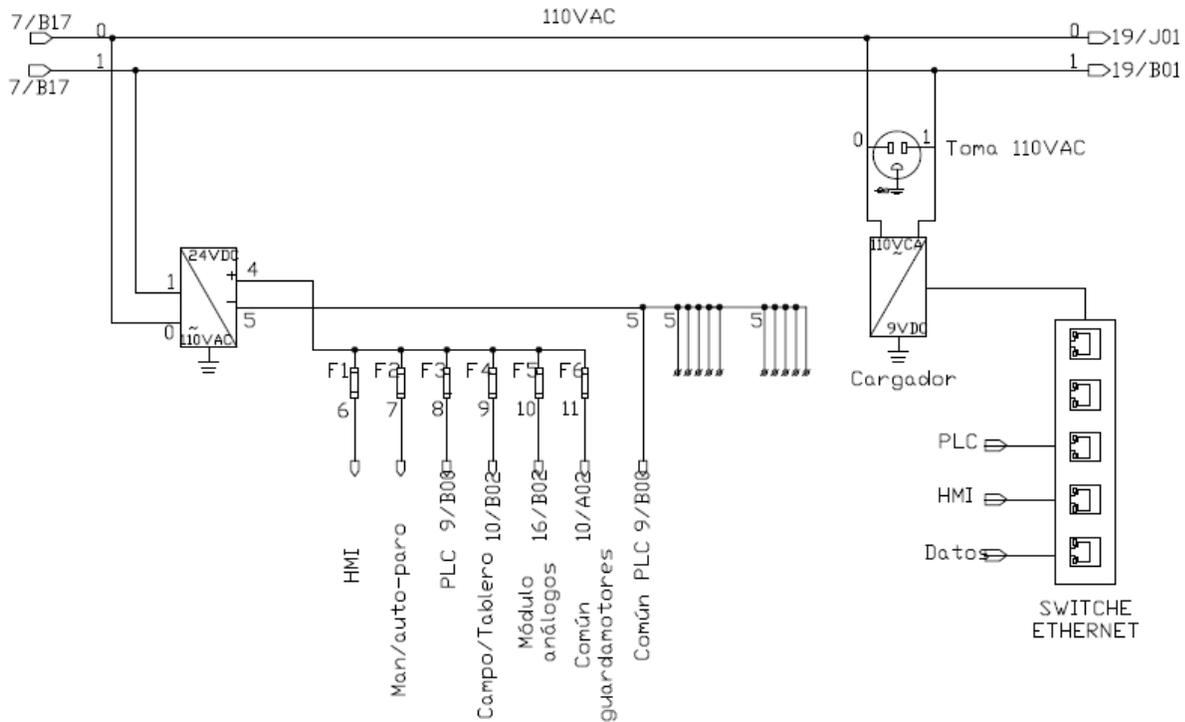


PLANO TABLERO DE CONTROL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

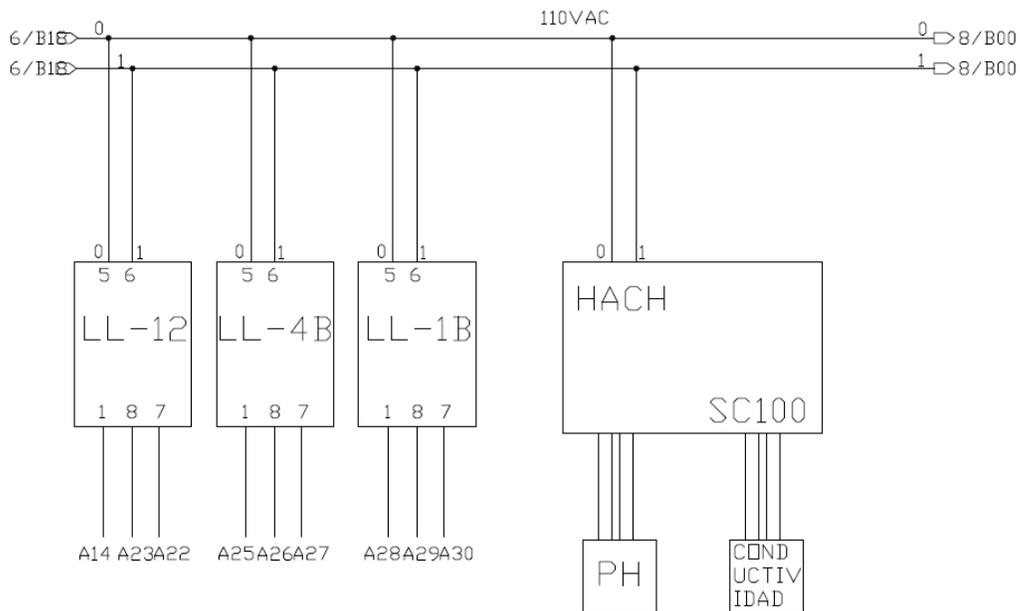
Vista Frontal tablero de control

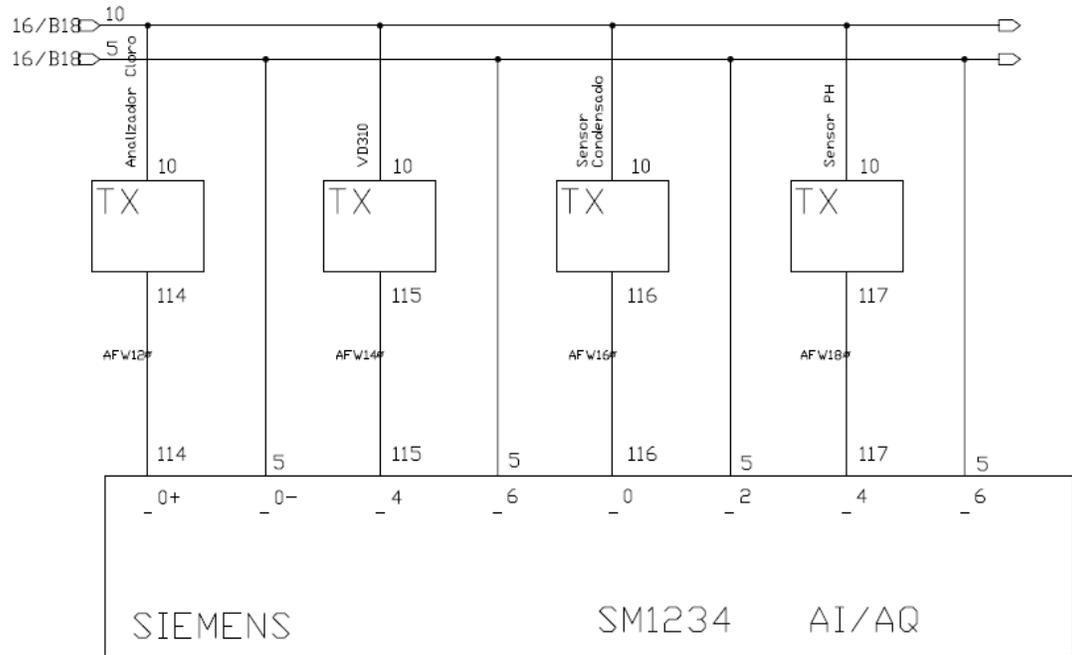


PLANO DE RED COMUNICACIÓN HMI-PLC-LAN AUTOMATISMO

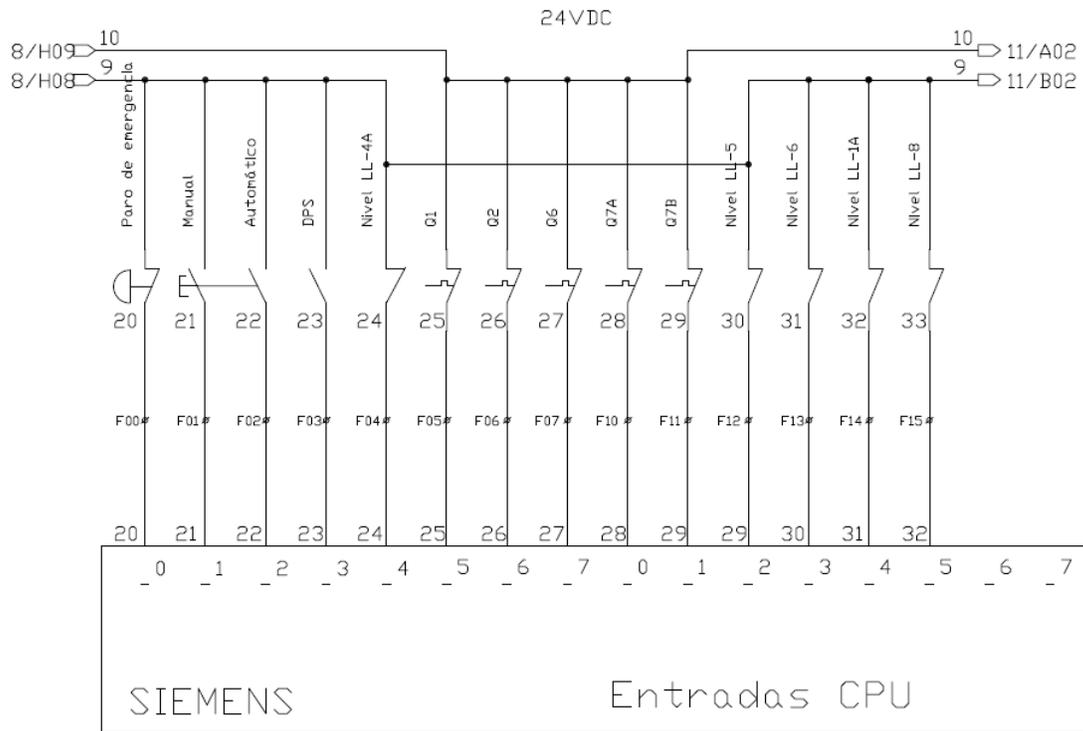


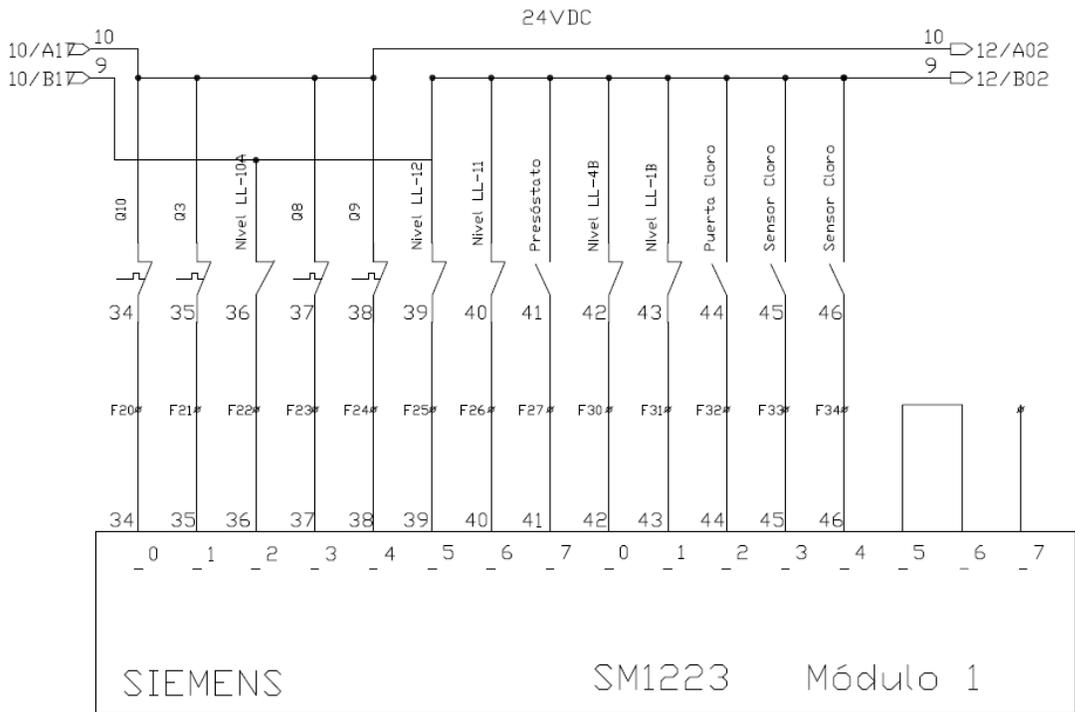
PLANO DE CONTROL SENSOR DE CLORO- CONDUCTIVIDAD-PH



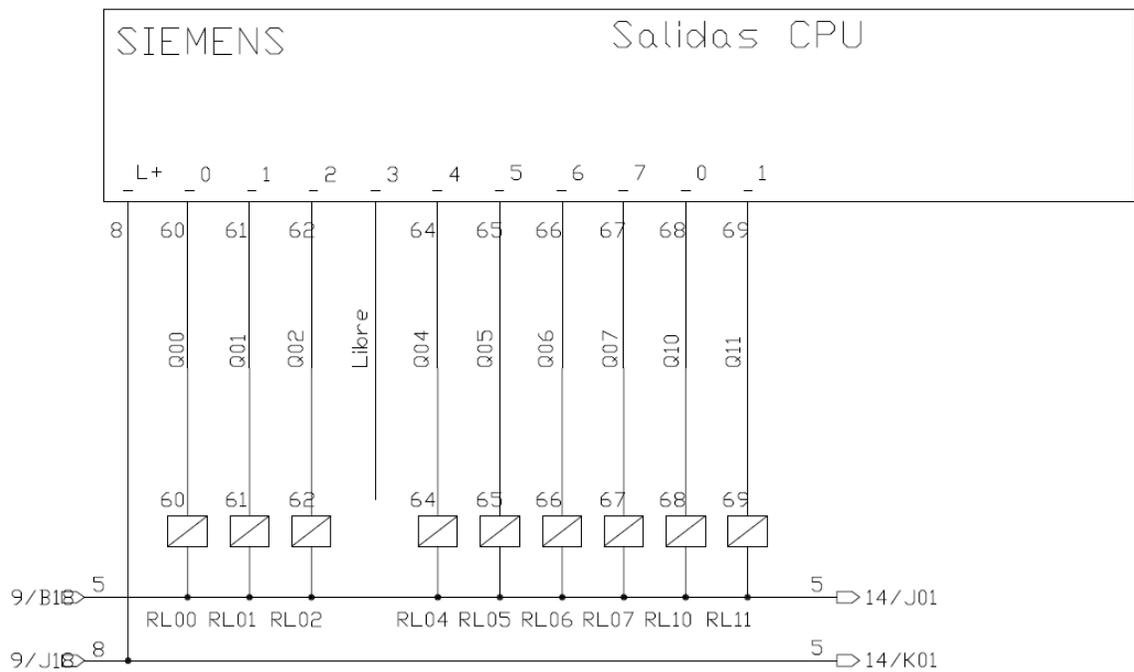


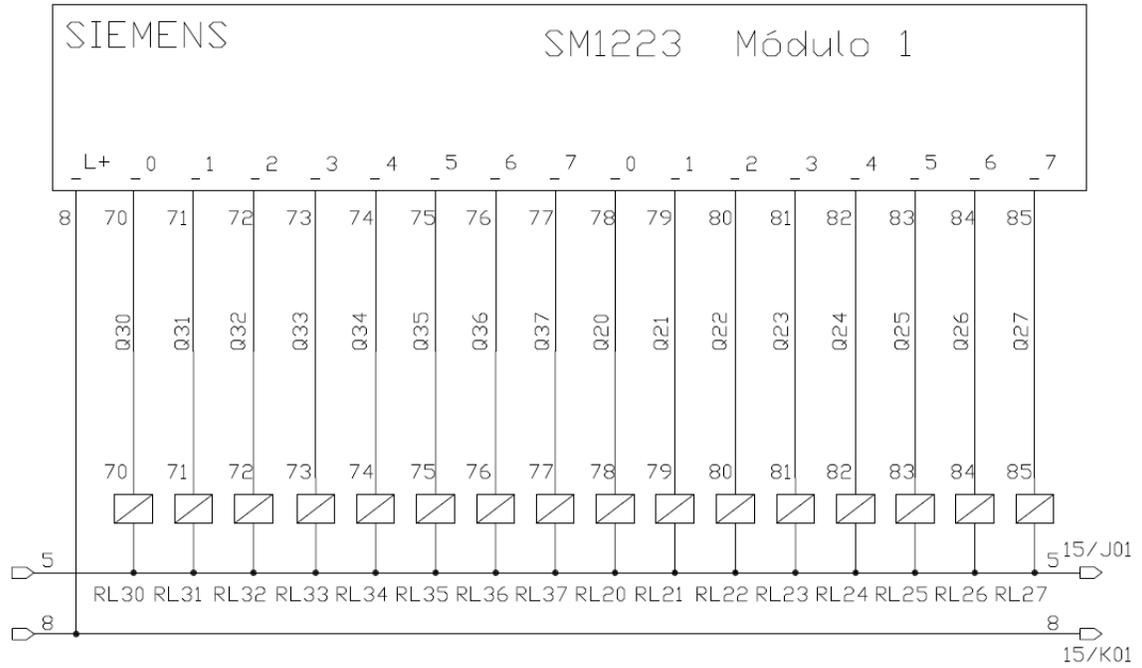
PLANO ENTRADAS DIGITALES AL PLC DESDE LA CPU Y EL MODULO 1





PLANO SALIDAS DIGITALES AL PLC DESDE LA CPU Y EL MODULO 1





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

APENDICE D

FICHA TECNICA SENSOR DE CONDUCTIVIDAD

Expanded manual version

For additional information, refer to the expanded version of this manual, which is available on the manufacturer's website.

Specifications

Specifications are subject to change without notice.

Inductive conductivity sensor

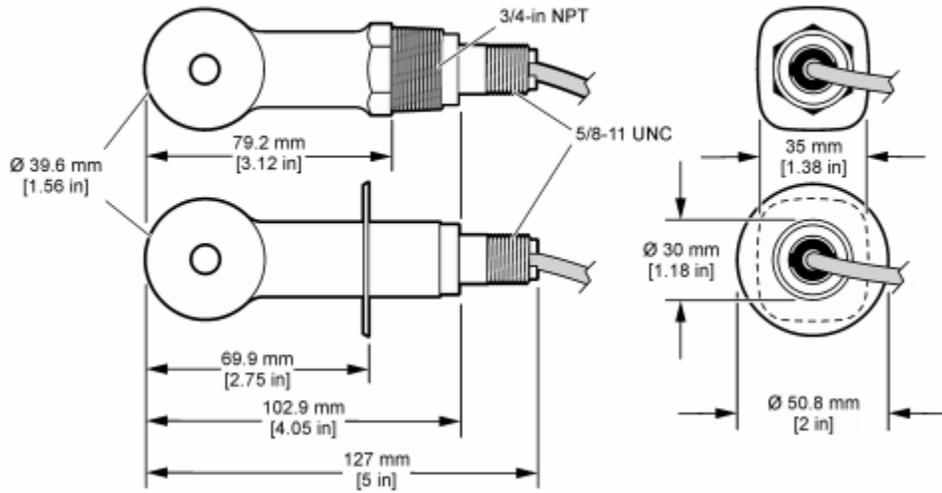
Specification	Details
Dimensions	Refer to Figure 1 on page 6.
Temperature element	PT1000
Sensor cable	5-conductor (plus two isolated shields ¹), 6 m (20 ft); rated at 150 °C (302 °F)—polypropylene
Wetted materials	Polypropylene, PVDF, PEEK or PTFE
Temperature/pressure limit	Polypropylene: 100 °C at 6.9 bar (212 °F at 100 psi); PVDF: 120 °C at 6.9 bar (248 °F at 100 psi); PEEK and PTFE: 200 °C at 13.8 bar (392 °F at 200 psi)
Operating temperature	–10 to 200 °C (–14 to 392 °F); limited only by sensor body material and mounting hardware
Conductivity range	0.0 to 200.0; 0 to 2,000,000 µS/cm
Temperature range	–10 to 200.0 °C (–14 to 392 °F) limited by sensor body material
Maximum flow rate	3 m/s (10 ft/s)
Warranty	1 year; 2 years (EU)

Inductive conductivity digital gateway

Specification	Details
Dimensions (L x ∅)	17.5 x 3.4 cm (7 x 1.4 in.)
Weight	145 g (5 oz)
Operating temperature	–20 to 60 °C (–4 to 140 °F)
Humidity	95% humidity, non-condensing
Certifications	UL, CE

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

Figure 1 Dimensions



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

sc200 conductivity module

Specification	Details
Linearity	≥ 1.5 mS/cm: $\pm 1\%$ of reading; < 1.5 mS/cm: ± 15 μ S/cm
Measuring range	0–2000 mS/cm
Response time	0.5 seconds
Precision	> 500 μ S/cm: $\pm 0.5\%$ of reading; < 500 μ S/cm: ± 5 μ S/cm
Maximum cable length	200 to 2000 μ S/cm: 61 m (200 ft); 2000 to 2,000,000 μ S/cm: 91 m (300 ft)
Warranty	1 year; 2 years (EU)

General information

In no event will the manufacturer be liable for direct, indirect, special, incidental or consequential damages resulting from any defect or omission in this manual. The manufacturer reserves the right to make changes in this manual and the products it describes at any time, without notice or obligation. Revised editions are found on the manufacturer's website.

Safety information

NOTICE

The manufacturer is not responsible for any damages due to misapplication or misuse of this product including, without limitation, direct, incidental and consequential damages, and disclaims such damages to the full extent permitted under applicable law. The user is solely responsible to identify critical application risks and install appropriate mechanisms to protect processes during a possible equipment malfunction.

Please read this entire manual before unpacking, setting up or operating this equipment. Pay attention to all danger and caution statements. Failure to do so could result in serious injury to the operator or damage to the equipment.

Make sure that the protection provided by this equipment is not impaired. Do not use or install this equipment in any manner other than that specified in this manual.

Use of hazard information

▲ DANGER

Indicates a potentially or imminently hazardous situation which, if not avoided, will result in death or serious injury.

▲ WARNING

Indicates a potentially or imminently hazardous situation which, if not avoided, could result in death or serious injury.

▲ CAUTION

Indicates a potentially hazardous situation that may result in minor or moderate injury.

NOTICE

Indicates a situation which, if not avoided, may cause damage to the instrument. Information that requires special emphasis.

APENDICE E

FICHA TECNICA VALVULA Y ACTUADOR NEUMATICO

SERIES 92/93 DE BRAY
ACTUADOR NEUMÁTICO



Par de torsión de salida a 44.130 lb-in (4.986 Nm)

Se combinó un diseño con estilo, resistencia, más compacto y simple para producir los actuadores de acción directa de la serie 92 y los actuadores neumáticos de retorno con resorte de la serie 93 de Bray.

Gracias a la ingeniería de excelencia y a la precisión en la fabricación, se creó una línea de productos modulares con requisitos de tamaño total reducidos y ahorros en los costos. Además, todos los accesorios de la línea Bray son completamente modulares y se montan directamente sobre el accionador. Al mismo tiempo, proporcionan flexibilidad y eficiencia a un bajo costo.

Los actuadores de las series 92/93 de Bray son actuadores de pistones opuestos de piñón y cremallera disponibles en dos versiones: de acción doble para una rotación de 90°, 135° y 180°, y de retorno con resorte para una rotación de 90°.

Los actuadores de las series 92/93 fueron diseñados originalmente para que funcionen de forma neumática hasta una presión máxima de 140 psig (10 bar) y para rangos de temperatura de -20 °F (-29 °C) a +200 °F (+95 °C). Comuníquese con la fábrica para obtener información sobre las aplicaciones con temperaturas más altas o más bajas.

Todas las unidades de acción doble y de retorno con resorte son adecuadas tanto para aplicaciones de estrangulamiento como aplicaciones de cierre o apertura. Como opción, hay actuadores que pueden accionarse a través de otros fluidos tales como aceite hidráulico o agua. Los actuadores de las series 92/93 están completamente revestidos y autocombustibles. Las distintas características minimizan el mantenimiento y proporcionan un montaje y un desmontaje seguro y simple.



SERIES 93

SELECCIÓN DE MATERIALES ESTÁNDARES	
NOMBRE	MATERIAL
Cuerpo	Aleación de aluminio extruido, anodizado Acero inoxidable 316
Tapas de los extremos	Aleación de aluminio fundido a presión con recubrimiento de poliéster resistente a la corrosión Acero inoxidable 316
Pistones	Aleación de aluminio fundido a presión
Eje de salida/Piñón:	Acero al carbono, cincado
Parada de recorrido:	Acero aleado
Cojinetes del eje:	Acetal
Guías de pistones:	Acetal
Sujetadores:	Acero inoxidable
Resortes	Resortes de acero, con recubrimiento protector
Sellos de la junta tórica del pistón:	BUNA-N
Opciones:	Exterior del cuerpo con recubrimiento de poliéster Exterior del cuerpo niquelado no eléctrico Exterior del cuerpo con proceso de anodizado duro Exterior del cuerpo con recubrimiento Seacor Piñón de acero inoxidable



MONTAJE DIRECTO

Los actuadores de Bray cumplen con las dimensiones exigidas por las normas ISO 5211 y se montan directamente a las válvulas de Bray sin que sea necesario utilizar enlaces externos. La instalación en campo es simple; se minimizan los defectos de alineación y se reduce la acumulación de contaminantes entre la válvula y el actuador.

OPCIONES DEL ACTUADOR NEUMÁTICO



SERIE 5 - OPERADOR DE ENGRANAJES DESEMPLEGABLE



ACERO INOXIDABLE



LÍMITES DE CARRERA EXTENDIDOS

SERIE 50 DE BRAY MONITORES DE ESTADO DE LA VÁLVULA

La serie 50 indica la posición del actuador y la válvula a las estaciones locales y remotas. Las unidades fueron diseñadas para facilitar el tendido de cables y una amplia variedad de interruptores. Ambas ofrecen la más alta calidad en las piezas interiores y gran confiabilidad.



TORNILLOS CAUTIVOS DE LA CARCASA

Las tapas de las carcasas de los monitores de estado de la válvula de Bray se acoplan a la base de la carcasa por medio de tornillos de acero inoxidable. Cuando se extrae la cubierta, los pernos se mantienen cautivos en ésta. De esta manera, no se pierde tiempo en inconvenientes ocasionados por la pérdida o la mala colocación de los tornillos.



PANTALLA DE ALTA VISIBILIDAD DISPONIBLE

El visualizador está claramente etiquetado y codificado por colores —amarillo para posición abierta y rojo para cerrada— e indica la posición de la válvula durante toda la carrera. La pantalla, que está hecha de policarbonato de alto impacto transparente y resistente a los químicos y al calor, soporta el lavado cústico y ofrece una excelente protección contra la corrosión.

SERIE 50/0400

Resistente al agua
NEMA-4,4X, IP 65



COJINETES DEL EJE: La serie 50-0400 tiene cojinetes de acetal en la parte superior e inferior del eje, lo que reduce la fricción y elimina la adherencia del eje.

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

APENDICE F

FICHA TECNICA SENSOR DE PH

Tabla 1-1 Especificaciones del Electrodo LDO

Componentes	Materiales resistentes a la corrosión, electrodo completamente sumergible con 10 m (30 pies) de cable
Rango de Medición (Oxígeno Disuelto)	0 – 20.00 ppm (0 – 20.00 mg/L) ó 0 – 200% de saturación
Rango de Medición (Temperatura)	0 – 50 °C (32 – 121 °F)
Temperatura de Operación del Electrodo	0 – 50 °C (32 – 121 °F)
Temperatura de Almacenamiento del Electrodo	-20 – 70 °C (-4 – 158 °F); 95% de humedad relativa, sin condensación
Tiempo de Respuesta	90% de la lectura en un rango de 30 segundos de ejecutado el cambio
Exactitud de la Medición	± 2% del rango (span)
Exactitud de la Temperatura	± 0.2 °C
Repetibilidad	± 0.5% del rango (span)
Sensibilidad	± 0.5% del rango (span)
Calibración/Verificación	Calibración en Aire: un punto, 100% aire saturado de agua; Calibración por Muestra: comparado a un instrumento estándar o comparado a método de Titulación Winkler.
Profundidad Máxima Inmersión Electrodo/Presión	Sumergible hasta 107 m (350 pies) / 1050 kPa (150 psi)
Interfase del Sensor	ModBUS
Longitud del Cable del Electrodo	10 m (30 pies)
Peso del Electrodo	1.4 kg (3 lb, 2 oz)
Dimensiones del Electrodo	6 x 29 cm (2 3/8 x 11.5 pulg.)
Tiempo de Vida del Capuchón del Sensor	Garantizado por 1 año ¹

1. El tiempo de vida del capuchón del sensor es adversamente impactado por la luz del sol reflejada y directa. Remueva el capuchón del sensor del electrodo durante los períodos de no uso (como limpieza del tanque) y guárdelo en un lugar oscuro hasta su reinstalación. La exposición del capuchón del sensor a la luz directa o reflejada del sol por más de una semana cancelará la garantía del capuchón del sensor.

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

Especificaciones

Tabla 1-2 Especificaciones del Controlador sc100

Descripción del Componente	Unidad de medición controlada por Microprocesador con pantalla para visualización de lectura y temperatura.
Temperatura de Operación del Controlador	-20 – 60°C (-4 – 140 °F); 95% humedad relativa, sin condensación con carga del sensor < 7 W; -20 – 40 °C (-4 – 104 °F) con carga del sensor < 25 W.
Temperatura de Almacenamiento del Controlador	-20 – 70 °C (-4 – 158 °F); 95% de humedad relativa, sin condensación.
Encerramiento	Controlador: Encerramiento de Metal con acabado resistente a la corrosión NEMA 4X/IP66.
Requisitos de Energía	100 – 230 V ac ±10%, 50/60 Hz; Energía: 11 W con 7 W de carga del sensor
Grado de Contaminación/Categoría de Instalación	II; II
Salidas	Dos (Análoga (4 – 20 mA) y/o opcional I/O digital seleccionable, impedancia máxima de 500 ohmios.
Relés	Tres SPDT, con contactos configurables por el usuario clasificados 100 – 200 V ac, 5 Amp. máximo de carga resistiva.
Dimensiones del Controlador	½-DIN—144 x 144 x 150 mm (5.7 x 5.7 x 5.9 pulg.)
Peso del Controlador	1.5 kg (3.5 lb.)

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

APENDICE G

FICHA TECNICA BOMBA DOSIFICADORA DE PH

Descripción

Nueva gama de bombas dosificadoras digitales Multifunción para tratamientos de aguas

La nueva gama de **bombas dosificadoras** digitales con microprocesador, y tecnología multifunción DLX se distinguen por su simplicidad de uso, su alta fiabilidad y por su robustez. Estas bombas tienen un funcionamiento **idéntico a las bombas Exactus**, y permite controlar la dosificación por mA en todas sus vertientes. Gracias a una fácil programación, podemos realizar una dosificación muy precisa.

Funciones Operativas:

- Manual con Regulación Digital (0-100%).
- Contador: 1*n, 1*/n con memoria (multiplicador), y 1/n (divisor)
- ppm (mg/l).
- mA.
- Programador digital horario.
- Alarmas.

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

- Salida Relé.
- Predisposición para Sensor de Flujo.
- Predisposición para Sonda de Nivel.
- Otras funciones: Reloj, Buzzer, ...
- Certificado CSA.

La gama DLX, gracias a sus características y su versatilidad es la **bomba ideal para la dosificación de cualquier producto químico** en muchos sectores entre los que destacamos:

- Tratamientos de aguas potables.
- Tratamientos de aguas residuales.
- Tratamiento de aguas industriales.
- Torres de refrigeración.
- Agricultura.

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

APENDICE H

ESPECIFICACIONES ANALIZADOR DE CLORO

HELIOS.05



AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS

 Imprimir  Correo electrónico

DIGITAL PANEL SUPPLIED WITH:

- ANALOGIC MULTIFUNCTION DOSING PUMPS (ATHENA.AMSERIES)
- MULTIPARAMETER SWITCH BOARD (NEXUS.7000SERIES)
- pH PROBE, CHLORINE PROBE WITH REGULABLE FLOW SENSOR, SAMPLE WATER FAUCET, DEGASSING FILTER
- PVC PANEL 40x60 cm
- BUFFER SOLUTION (pH-REDOX)
- ALL ASSEMBLED AND CABLED READY TO BE INSTALLED

AVAILABLE POTENTIOSTATIC CHLORINE VERSION
 POSSIBILITY TO HAVE WITH NEXUS.2000 CL AMPEROMETRIC INSTRUMENT

FaLang translation system by Faaboo

APENDICE I

ESPECIFICACIONES BOMBA DOSIFICADORA DE HIPOCLORITO



BOMBAS

[Imprimir](#) [Correo electrónico](#)

DOSIFICADORAS ELECTROMAGNÉTICA

CABEZAL DE PVDF idóneo para los productos químicos utilizados en las aplicaciones industriales, en el tratamiento del agua y en la potabilización

BOLAS DE CERÁMICA fiabilidad de la dosificación y compatibilidad química

DIAFRAGMA de PTFE resistencia y compatibilidad con todos los productos químicos

DOSIFICACIÓN CONSTANTE alimentación multitensión estabilizada 100-240 Vca 50/60 Hz con baja absorción

CONEXIÓN RÁPIDA

VÁLVULA DE PURGA MANUAL

PROTECCIÓN IP65

PORTATA REGULABLE con mando en el panel frontal

POWER-ON y **LED ALARMA DE NIVEL**

doble regulación manual del caudal 0÷20 %, 0÷100 %

FelLang translation system by Feboco

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

ATHENA 4 ATHENA 1 ATHENA 2 ATHENA 3

DATOS DETECTADOS CON AGUA A TEMPERATURA AMBIENTE CON ALTURA ASPIRACIÓN 1,5 m

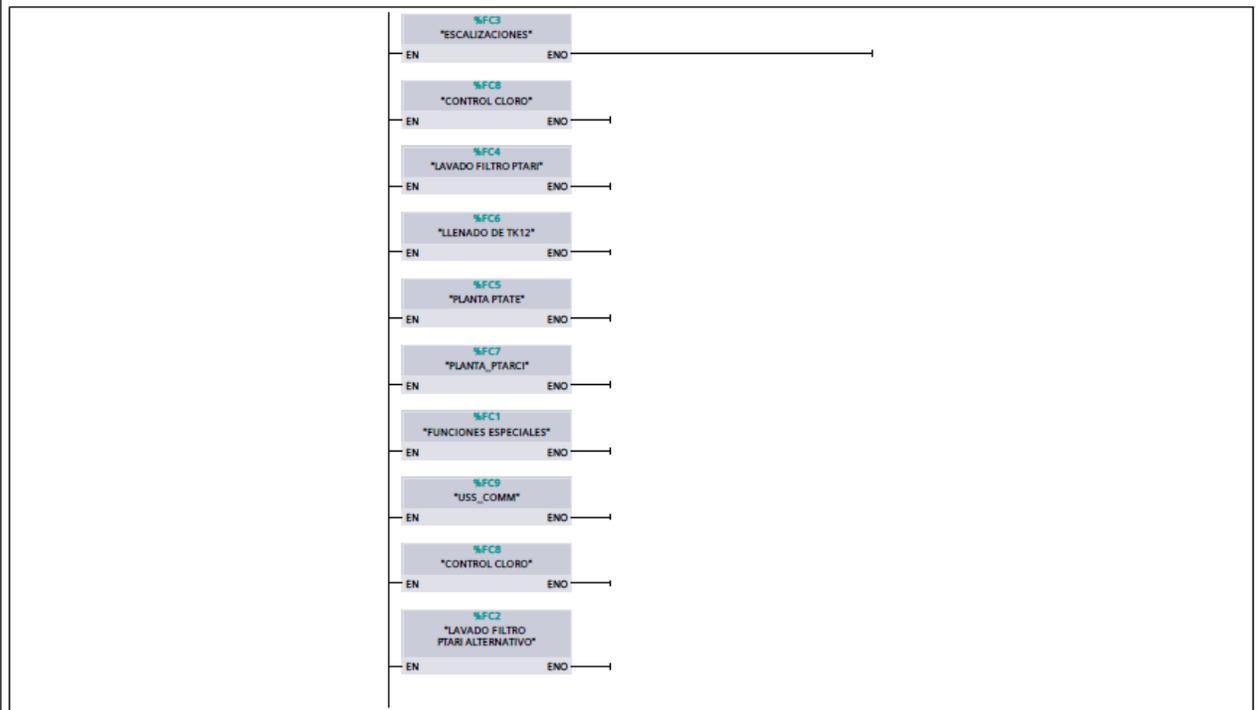
CAUDALES	PRESIONES	CC/IMP.	CONEXIONES	IMP./MIN.	ABSORCIÓN	PESO
30 l/h	5 bar	1,67	8x12	300	28 watt	4 kg
40 l/h	4 bar	2,22	8x12	300	28 watt	4 kg
55 l/h	2 bar	3,05	8x12	300	28 watt	4 kg
110 l/h	0,1 bar	6,11	8x12	300	28 watt	4 kg

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

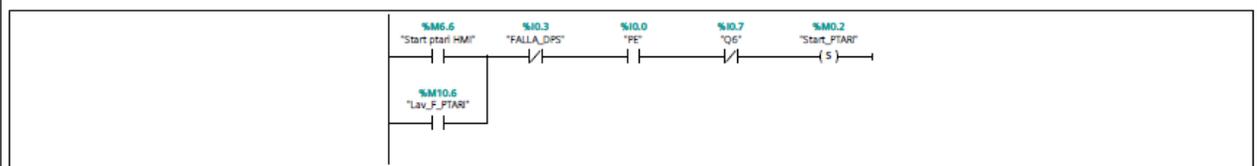
APENDICE J

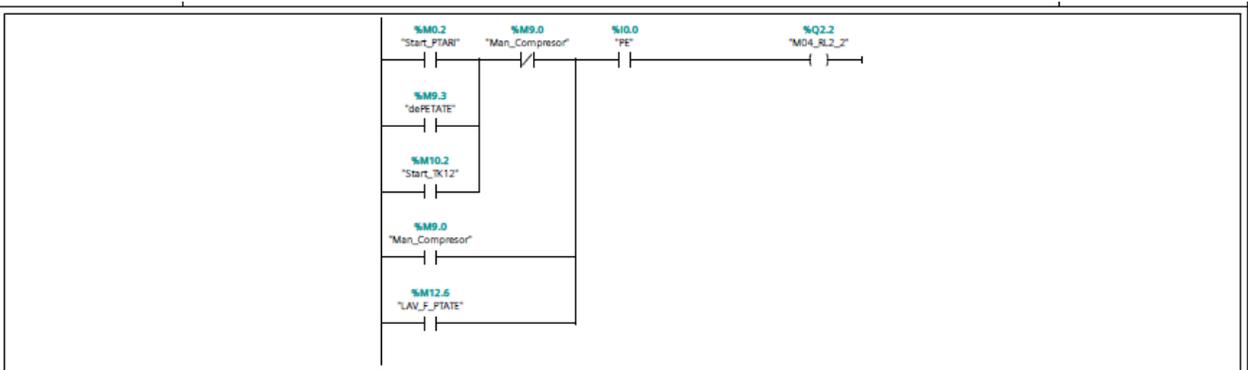
CODIGO GENERAL DEL PROGRAMA KOP DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO PTARI

Segmento 1: PROTOCOLO USS



Segmento 2:

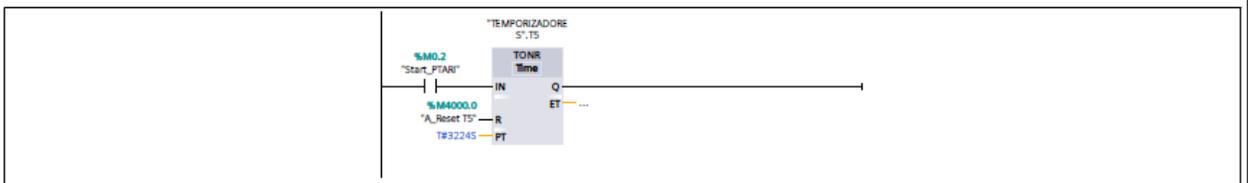




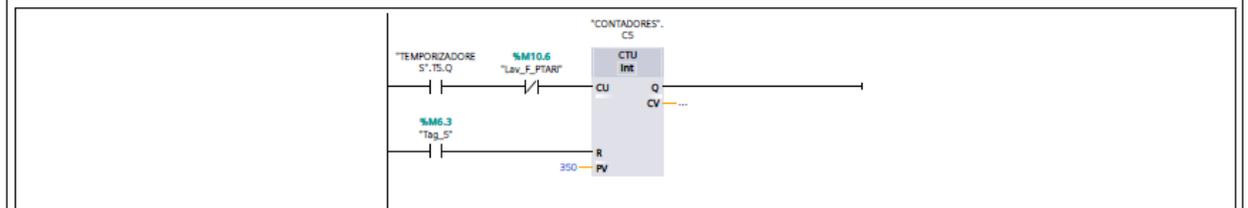
Segmento 4:



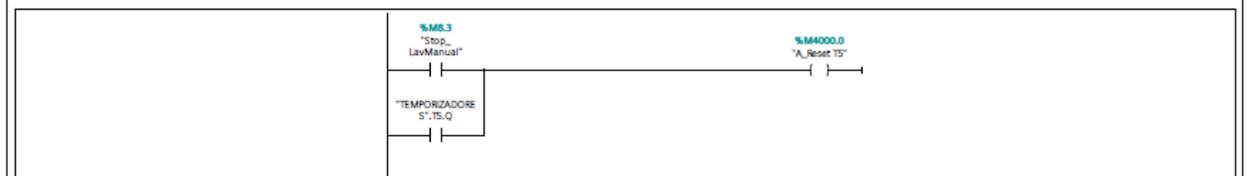
Segmento 5: PREGUNTAR RESET



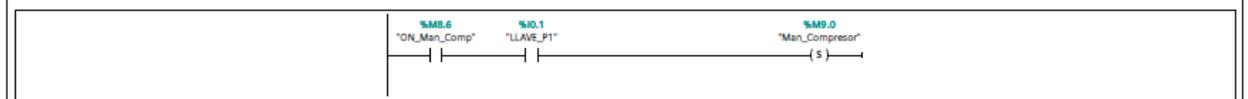
Segmento 6:

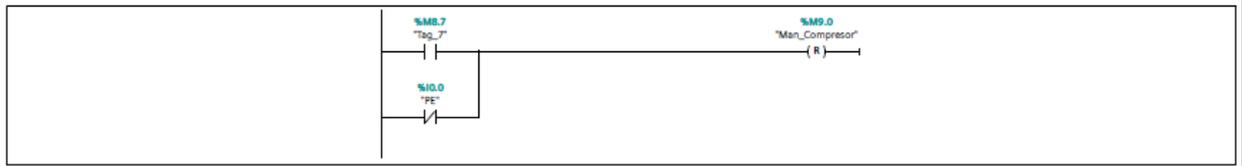


Segmento 7: reset propio



Segmento 8:

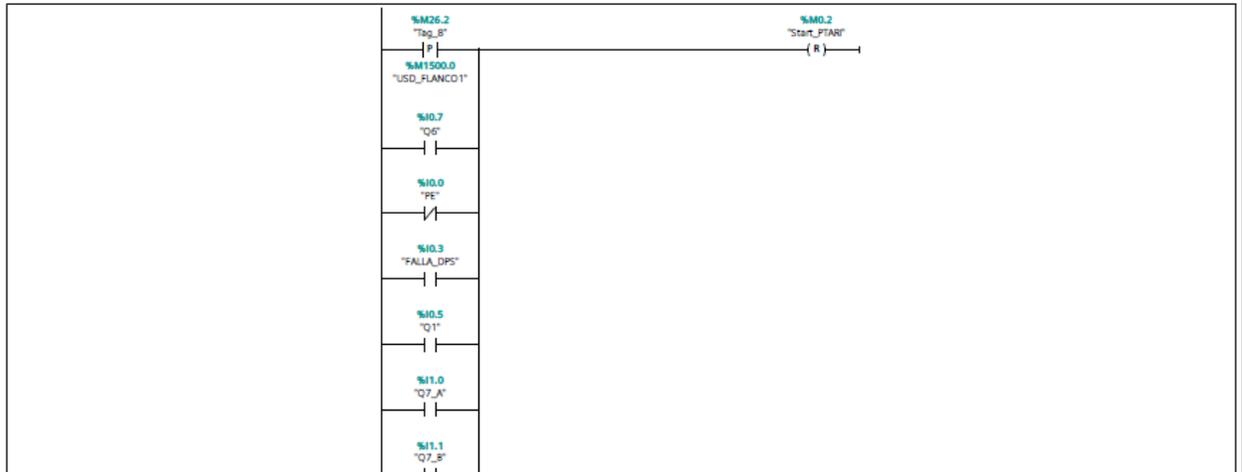




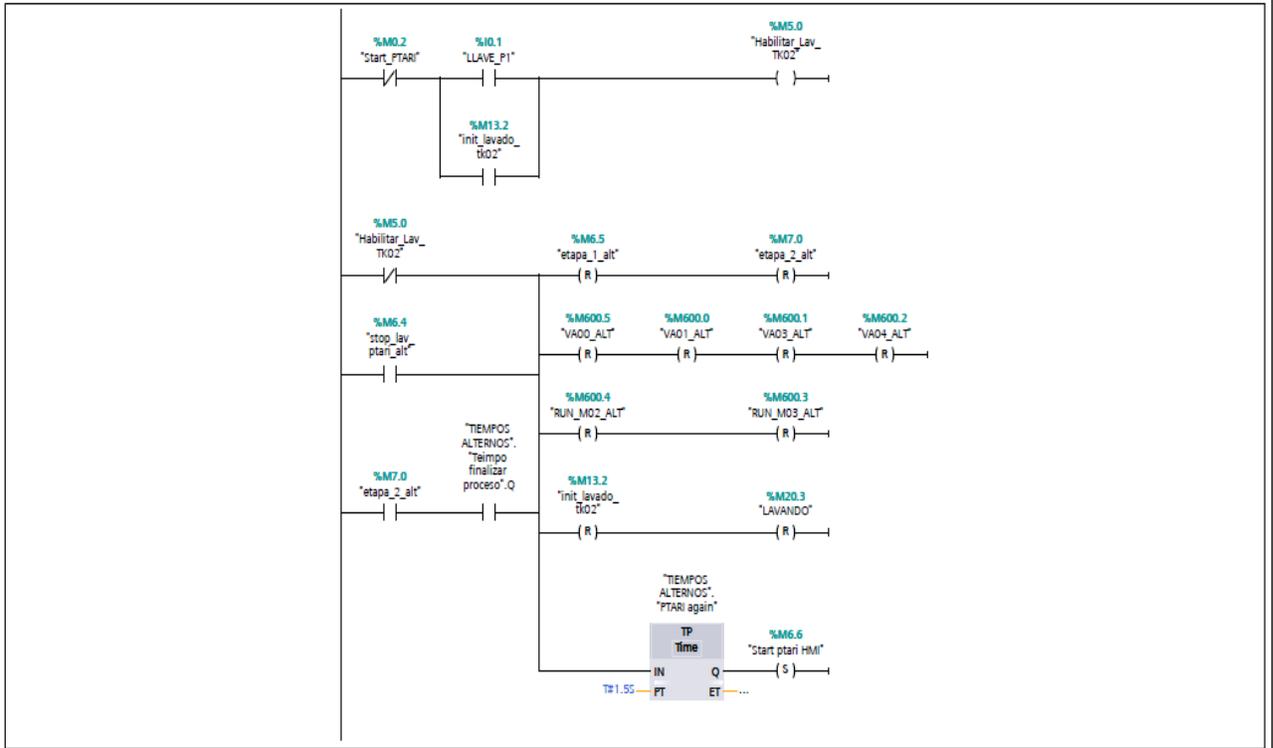
Segmento 10:



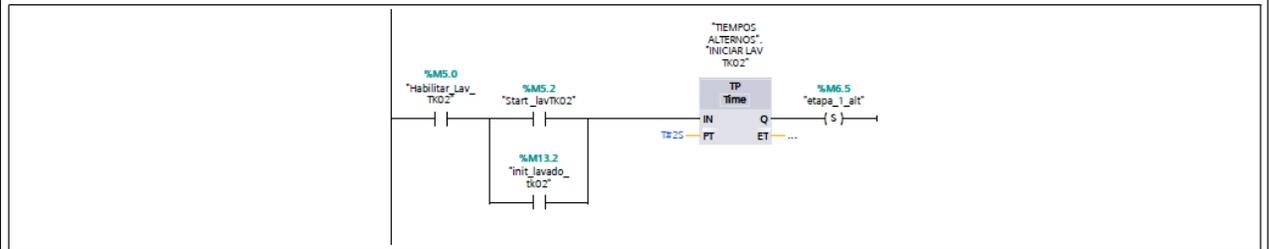
Segmento 11:

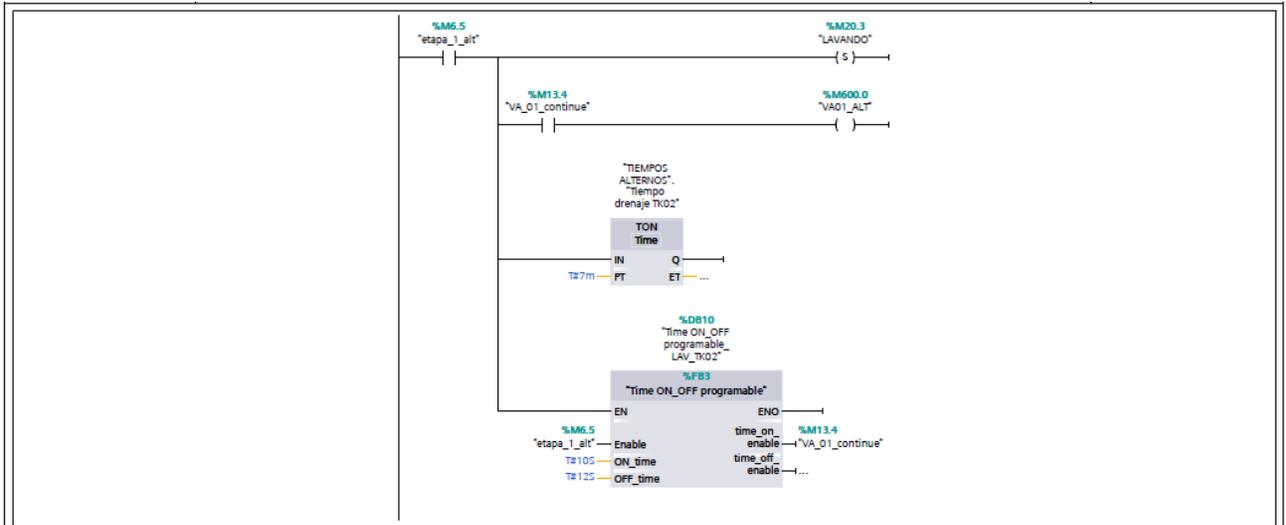


Segmento 1:

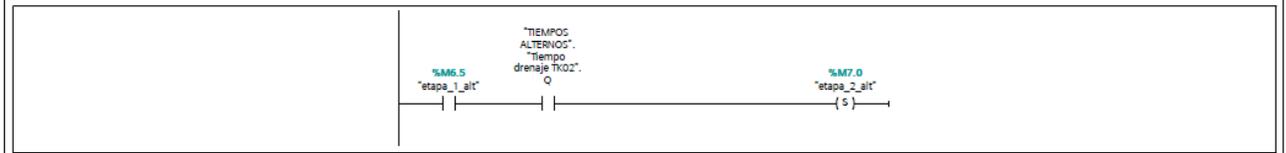


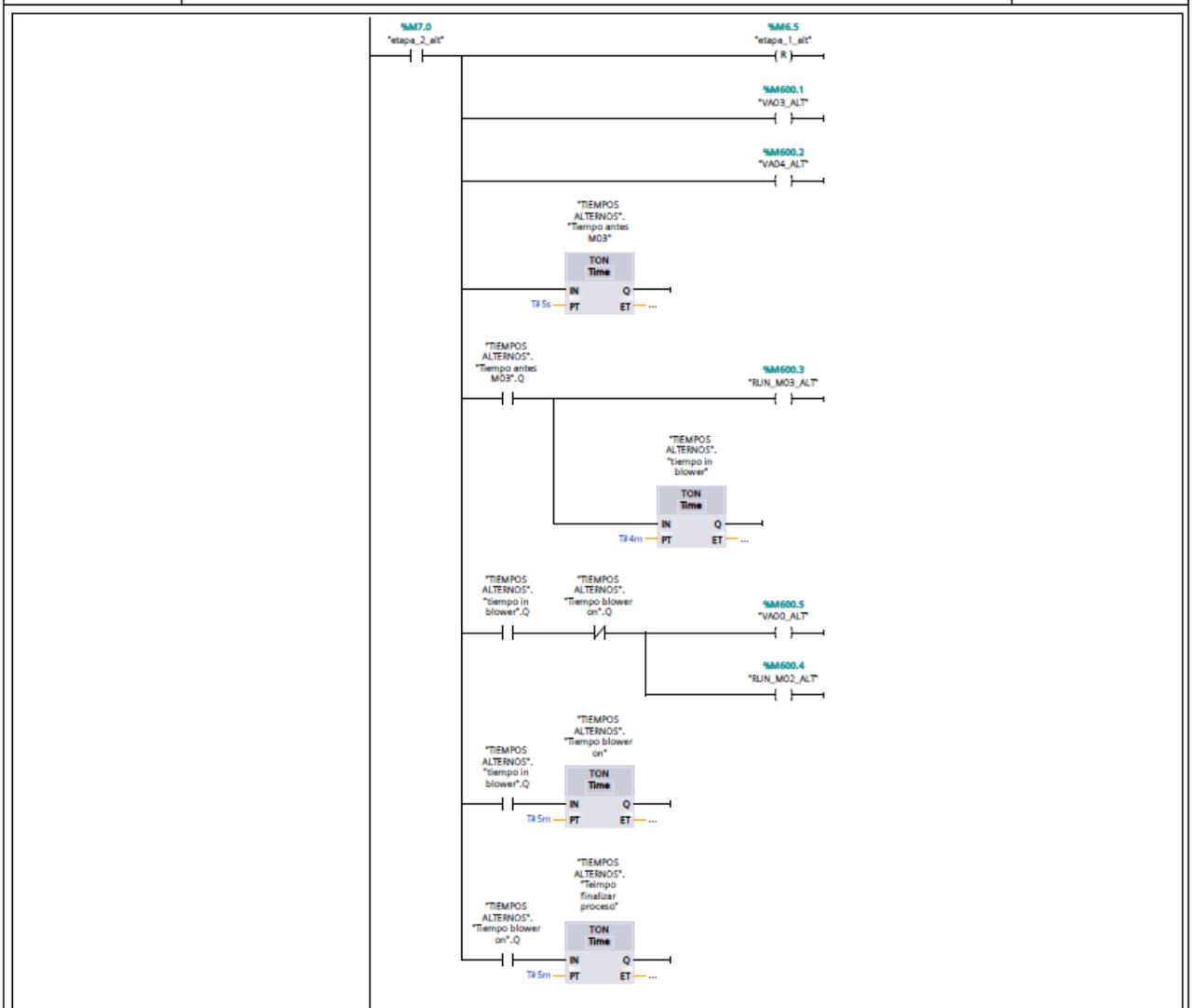
Segmento 2:

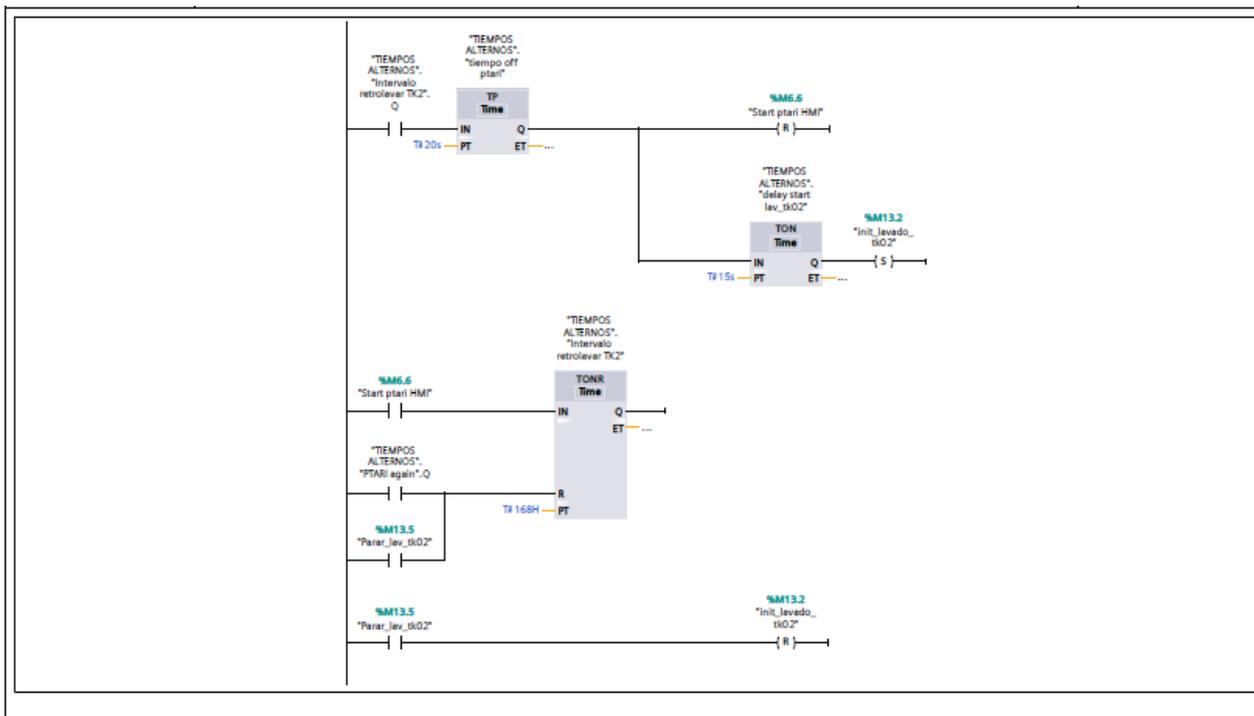




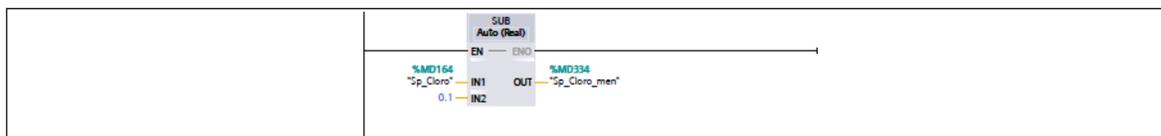
Segmento 4:



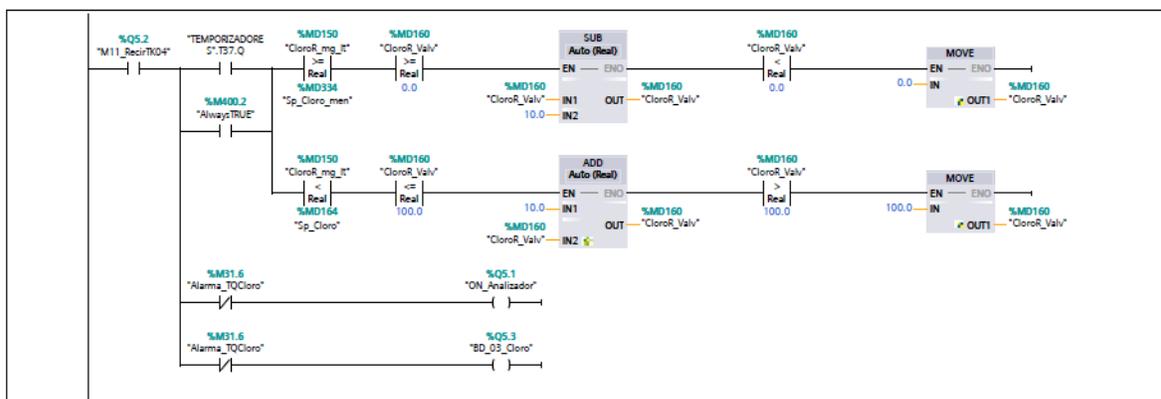




Segmento 1:



Segmento 2: Encender Analizador de Cloro

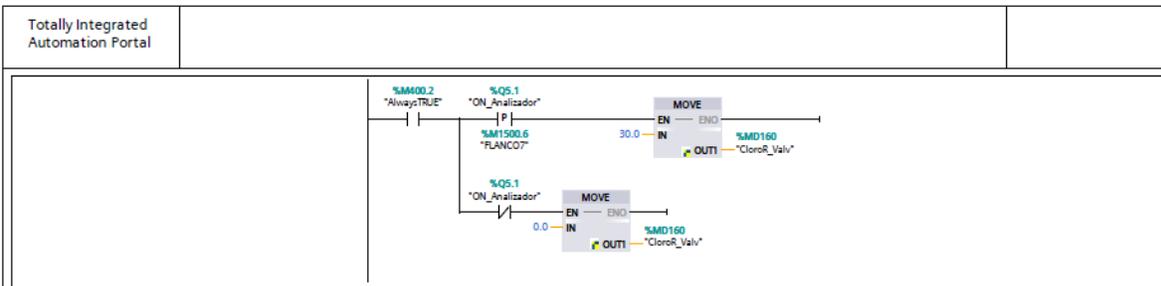
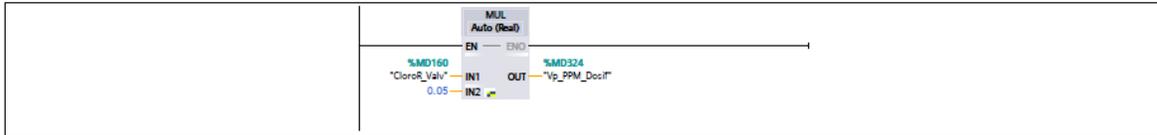


 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

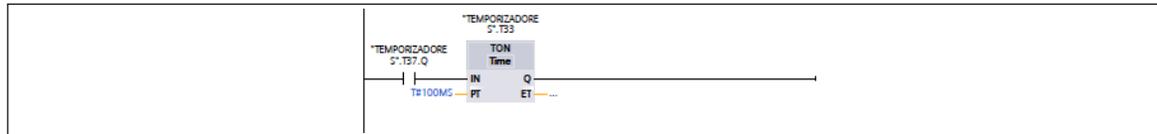
Segmento 3:



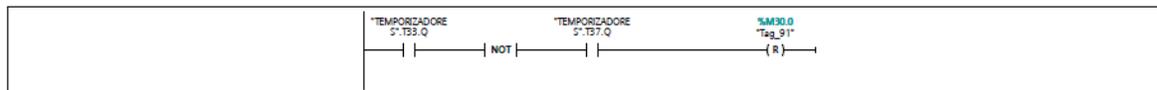
Segmento 4:



Segmento 6:



Segmento 7: DUDA DEL NOT



Segmento 9:



