

**INSTALACIÓN, CONFIGURACIÓN Y VINCULACIÓN DE INSTRUMENTACIÓN  
PARA EL SEGUIMIENTO Y CONTROL DE VARIABLES EN PLANTAS DE  
TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE**

**JAVIER FERNANDO AVENDAÑO MENDOZA**

**MARIO ALBERTO DIAZ BEDOYA**



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRONICA  
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRONICA  
ESPECIALIZACION EN CONTROL E INSTRUMENTACION INDUSTRIAL  
BUCARAMANGA**

**2012**

**INSTALACIÓN, CONFIGURACIÓN Y VINCULACIÓN DE INSTRUMENTACIÓN  
PARA EL SEGUIMIENTO Y CONTROL DE VARIABLES EN PLANTAS DE  
TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE**

**JAVIER FERNANDO AVENDAÑO MENDOZA  
MARIO ALBERTO DIAZ BEDOYA**

**MONOGRAFIA DE GRADO**

**CLAUDA LEONOR RUEDA GUZMAN  
DIRECTOR**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRONICA  
ESPECIALIZACION EN CONTROL E INSTRUMENTACION INDUSTRIAL  
BUCARAMANGA**

**2012**

**Nota de Aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

**Firma de Presidente del Jurado**

---

**Firma del Jurado**

---

**Firma del Jurado**

Bucaramanga, 27 de enero de 2012

***Al G.: A.: D.: U.:***

*A mi familia*, por el apoyo en cada etapa de mi vida.

*A Diana C. Anzola S.*, por su amor incondicional.

*A mis amigos y a Soluciones ATA*, por darme la oportunidad de aprender y  
crecer como emprendedor.

***Javier Avendaño***

*A **Dios** por darme todos los días su bendición y fortaleza.  
A mi esposa **Roxana Cativiela** y mi hijo **Martin Díaz Cativiela** por ser la razón de  
mi vida.  
A mis **padres**, por ser mi ejemplo de vida y apoyarme siempre.*

**Mario Díaz**

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	1
1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DEL PROYECTO.....	2
1.1. ANTECEDENTES.....	2
1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE DOSIFICACIÓN.....	3
2. INSTALACIÓN Y CONFIGURACIÓN.....	7
2.1. INSTALACIÓN Y CONFIGURACIÓN DE ELECTROVÁLVULAS.....	8
2.2. INSTALACIÓN Y CONFIGURACIÓN DE ELECTROBÁSCULAS.....	12
2.3. INSTALACIÓN Y CONFIGURACIÓN DE VARIADORES DE VELOCIDAD.....	14
2.4. INSTALACIÓN Y CONFIGURACIÓN DE SENSOR DE FLUJO.....	16
3. CABLEADO Y CONEXIÓN DE EQUIPOS.....	20
4. PRUEBAS.....	22
5. PROYECCIÓN ECONÓMICA.....	22
5.1. MESES EN LOS CUALES TRABAJO EN SU MAYORÍA DE DÍAS DOEFICO 2.0.....	23
5.2. MESES DE PRODUCCIÓN EN LOS CUALES SE TRABAJÓ CON SULFATO LÍQUIDO ANTES Y DURANTE DOEFICO 2.0.....	24
5.3. RELACIÓN DE LAS VARIABLES.....	24
5.3. RELACIÓN COSTO BENIFICO DE DOEFICO 2.0.....	25
5. REALIZACIÓN DE PLANOS Y ENTREGA DEL PROYECTO.....	30
RECOMENDACIONES. ....	31
CONCLUSIONES. ....	32
BIBLIOGRAFÍA. ....	33
WEBGRAFÍA. ....	33
ANEXOS. ....	33

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1.</b> Características principales Electroválvula EV220B.....	<b>9</b>
<b>Tabla 2.</b> Datos técnicos Electroválvula EV220B.....	<b>10</b>
<b>Tabla 3.</b> Datos técnicos Electroválvula Norgren Buschjost.....	<b>11</b>
<b>Tabla 4.</b> Resumen tiempo de instalación electroválvulas.....	<b>12</b>
<b>Tabla 5.</b> Especificaciones técnicas Transmisor Signet8450 de Presión.....	<b>13</b>
<b>Tabla 6.</b> Resumen tiempo de instalación electrobásculas.....	<b>14</b>
<b>Tabla 7.</b> Características Variador de velocidad Danfoss VLT2800.....	<b>15</b>
<b>Tabla 8.</b> Resumen tiempo de instalación Variadores de velocidad Danfoss. ....	<b>16</b>
<b>Tabla 9.</b> Características técnicas Sensor de flujo KROHNE. ....	<b>17</b>
<b>Tabla 10.</b> Resumen tiempo de instalación Sensor de flujo KROHNE. ....	<b>20</b>
<b>Tabla 11.</b> Meses trabajados con DOEFICO 2.0. ....	<b>23</b>
<b>Tabla 12.</b> Meses trabajados con sulfato líquido con y sin DOEFICO 2.0. ....	<b>24</b>
<b>Tabla 13.</b> Índice de costos.....	<b>27</b>
<b>Tabla 14.</b> Tabla de relación de índice de gasto, costos de producción y ahorro vs tiempo.....	<b>28</b>

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Variador de velocidad Danfoss. ....	4
<b>Figura 2.</b> Bombas dosificadoras.....	5
<b>Figura 3.</b> Indicador de nivel. ....	5
<b>Figura 4.</b> WTW IQ SENSOR NET. ....	6
<b>Figura 5.</b> Ciclo del proceso de dosificación usado en la PTAP de Bosconia. ....	7
<b>Figura 6.</b> Ciclo dosificación después de automatización. ....	8
<b>Figura 7.</b> Electroválvula Danfoss Modelo EV220B para líquidos y gases neutros y agresivos, DN 15-50 SS (Acero Inoxidable). ....	9
<b>Figura 8.</b> Electroválvulas Norgren BuschJost de 2/2 vías.....	10
<b>Figura 9.</b> Antes y después instalación electroválvulas. ....	11
<b>Figura 10.</b> Indicadores de presión Signet 8450.....	12
<b>Figura 11.</b> Antes y después instalación electrobásculas.....	13
<b>Figura 12.</b> Instalación variadores de velocidad VLT 2800 Danfoss. ....	14
<b>Figura 13.</b> Sensor transmisor indicador de flujo KROHNE.....	17
<b>Figura 14.</b> Instalación sensor de flujo KROHNE. ....	19
<b>Figura 15.</b> Especificaciones de instalación del fabricante Sensor de flujo KROHNE. ....	19
<b>Figura 16.</b> Instalación cableada y protecciones externas. ....	20
<b>Figura 17.</b> Instalación cableada en rack. ....	21
<b>Figura 18.</b> Gasto de Sulfato Vs Variables Relevantes del Proceso (Escaladas)...	25
<b>Figura 19.</b> Relación índice costos vs tiempo.....	29

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
<b>Anexo 1.</b> Plano de conexiones de la instrumentación en la PTAP de Bosconia .....	<b>3</b>

## SIGLAS

**AMB:** Acueducto Metropolitano de Bucaramanga.

**CIM:** (Computer Integrated Manufacturing). Sistema de Manufactura Integrada por Computador.

**DAC:** (*Digital to Analog Converter*) Conversor Digital-Análogo.

**DCS:** (*Distributed Control System*). Sistema de Control Distribuido.

**DOEFICO:** Software para la Dosificación Eficiente de Coagulante.

**GMAC:** Gestión de Mantenimiento Asistida por Computador.

**GUI:** (*Graphical User Interface*) Interfaz Gráfica de Usuario.

**HMI:** (*Human Machine Interface*). Interfaz Humano Máquina.

**ISA:** (*International Society of Automation*). Sociedad Internacional de Automatización.

**ISO:** (*International Organization for Standardization*). Organización Internacional de Estandarización.

**LAN:** (*Local Area Network*). Red de Area Local.

**MATLAB:** Matrix Laboratory.

**NI:** National Instrument.

**MODULO I/O:** Módulo con Canales de Entrada y Canales de Salida para monitoreo y manipulación de instrumentación de proceso.

**OPC:** (*OLE for Process Control*). Es un estándar abierto para compartir datos entre dispositivos de campo y aplicaciones de PC, basado en OLE de Microsoft.

**P&ID:** Diagrama de Proceso e Instrumentación. Estandarizado bajo la Norma ISA / ANSI S5.1 / 84.

**PAC:** (*Programmable Automation Controller*). Controlador Programable de Automatización, versión SNAP desarrollado por OPTO22.

**PC:** (*Personal Computer*). Computador Personal.

**PLC:** (*Programmable Logic Controller*). Controlador Lógico Programable.

**PTAP:** Planta de Tratamiento de Agua Potable.

**RNA:** Red Neuronal Artificial.

**RTU:** (*Remote Terminal Unit*). Unidad Terminal Remota.

**SAD:** Sistema de Adquisición de Datos.

**SC:** Streaming Current.

**SIT:** (*Simulation Interface Toolkit*) Herramientas de Interfaz de Simulación.

**SCADA:** (*Supervisory Control And Data Acquisition*). Sistema de Supervisión de Control y Adquisición de Datos.

**TXT:** Texto.

**UPB:** Universidad Pontificia Bolivariana.

**VB:** Visual Basic.

**VISA:** Virtual Instrument Software Architecture.

**WTW MIQ/T2020:** Wissenschaftlich-Technische Werkstätten.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

- Instalar, configurar y vincular la instrumentación necesaria para el seguimiento y control de variables en plantas de tratamiento de agua potable.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Realizar las de pruebas en los equipos instalados, en el cableado y la comunicación con el fin de asegurar el buen funcionamiento de los mismos.
- Añadir al nuevo sistema las variables que no se encuentran vinculadas y que son importantes para el proceso.
- Realizar los planos de conexión de equipos.
- Encontrar una relación que indique el ahorro en costo del sistema de automatización.

## **RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO**

**TITULO:** INSTALACION, CONFIGURACION Y VINCULACION DE INSTRUMENTACION PARA EL SEGUIMIENTO Y CONTROL DE VARIABLES EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE.

**AUTORES:** JAVIER FERNANDO AVENDAÑO MENDOZA  
MARIO ALBERTO DIAZ BEDOYA

**FACULTAD:** ESP. EN CONTROL E INSTRUMENTACION INDUSTRIAL

**DIRECTORA:** CLAUDA LEONOR RUEDA GUZMAN

### **RESUMEN**

En esta monografía se plasma el proceso de instalación, configuración y vinculación de la instrumentación necesaria y requerida para hacer seguimiento y control de las variables en plantas de tratamiento de agua potable, donde se podrá contextualizar al lector con los antecedentes del proceso de automatización de la PTAP de Bosconia, dando a conocer de forma inmediata los conceptos y la descripción de los equipos más relevantes en el proceso de potabilización del agua, dentro de los cuales se encuentran el variador de velocidad, la bomba dosificadora, sensor de nivel, caudalímetro y el WTW IQ Sensor encargado de reunir y transmitir las variables involucradas en el proceso. A continuación se muestra que instrumentación es necesaria y relevante para poder hacer un proceso de tratamiento de agua potable óptimo y por tanto efectivo en una planta de tratamiento de agua.

**PALABRAS CLAVE:** Automatización, Instrumentación, DOEFICO.

**V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO**

## **ABSTRACT OF THESIS PROJECT**

**TITLE:**               **INSTALLATION, CONFIGURATION AND LINKING INSTRUMENTS FOR MONITORING AND CONTROL OF VARIABLES IN WATER TREATMENT PLANTS.**

**AUTHORS:**       **JAVIER FERNANDO AVENDAÑO MENDOZA  
MARIO ALBERTO DIAZ BEDOYA**

**DEPARTMENT:**   **ESP. EN CONTROL E INSTRUMENTACION INDUSTRIAL**

**DIRECTOR:**       **CLAUDA LEONOR RUEDA GUZMAN**

### **ABSTRACT**

This paper shows the installation, configuration and connection process of necessary and required instrumentation to control and monitor the variables in water treatment plants of drinking water, the reader can be contextualize with the background of the automation process in Bosconia PTAP, making known the concepts and the description of the most important equipment in the water purification process, within which are the frequency converter, flow and level sensors, dosage pump and WTW IQ Sensor managed to collect and transmit the variables involved in the process. Below is the necessary and relevant instrumentation to do the best drinking water treatment process and effective in a water treatment plant.

**KEYWORDS:** Automation, Instrumentation, DOEFICO.

**V° B° THESIS DIRECTOR**

## INTRODUCCION

La Universidad Pontificia Bolivariana y el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A E.S.P ofrecen en el año 2008 la oportunidad de desarrollar en conjunto un proyecto de investigación y diseño, la investigación liderada por la facultad de ambiental demuestra y expone un modelo de correlación entre las variables medibles en línea que afectan el proceso de determinación de la dosis optima de coagulante, esta investigación es la base del diseño realizado en la misma fecha por estudiantes de la facultad de electrónica en donde se desarrolla la primera versión de una aplicación (software) capaz de predecir la dosis óptima por medio del uso de redes neuronales artificiales con un índice de error muy bajo, optimizando así no solo los gastos por consumo en químicos sino mejorando la calidad del producto terminado.

Dos años después el acueducto adopta e implementa no solo la idea de la aplicación principal sino también futuras actualizaciones en pro del buen funcionamiento del proceso y de los sistemas de control en la planta de tratamiento de agua potable, en la actualidad, la tercera versión del software posee grandes cualidades y un fuerte impacto no tan solo por su inteligencia y su precisión sino por su interfaz personalizada, haciendo de este software fácil y ameno con el operario.

Teniendo en cuenta los avances que se han elaborado en materia de software de control al proceso de dosificación de coagulante, se desarrolla una propuesta para fortalecer la instrumentación en la planta de tratamiento y optimizar dicho proceso, mejorar la adquisición de los datos, centralizar la información, eliminar tiempos por reacción, obtener una mejor precisión en las mediciones y plantear un sistema de control que ofrezca mejores niveles en la calidad del agua y en un ahorro económico significativo.

# 1. FUNDAMENTACION TEORICA DEL PROYECTO

## 1.1. ANTECEDENTES.

El proyecto para actualización de la instrumentación es propuesto por la necesidad de mejorar el sistema de control actual de la planta de tratamiento de agua, el cual ha sido diseñado entre la Universidad Pontificia Bolivariana y el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga, con el fin de brindar soluciones que permitan optimizar el proceso de producción, siendo más específico, la etapa de dosificación de sulfato de aluminio.

En su inicio dos proyectos fueron desarrollados en la Universidad Pontificia Bolivariana de Bucaramanga. La facultad de ingeniería ambiental estudió la relación entre las variables significativas existentes en el proceso de potabilización del agua como turbiedad, pH, color, alcalinidad y conductividad, variables determinantes para determinar la dosis óptima de sulfato de aluminio. Este proyecto concluye que las variables más influyentes son turbiedad y color debido a que presentan un comportamiento cambiante en el tiempo ya que las demás variables tienen un comportamiento con valores constantes [1].

La facultad de ingeniería electrónica diseñó y desarrolló paralelamente un software llamado DOEFICO (Dosificación Eficiente de Coagulante) el cual tiene la capacidad de predecir la dosis óptima de sulfato de aluminio por medio del entrenamiento de redes neuronales, esta dosis propuesta pretende reducir costos por gastos excesivos en insumos sin alterar la calidad del producto terminado, fue proyectado un ahorro de cien millones de pesos por año, debido a esto se lleva a cabo la implementación del sistema de control en la planta de tratamiento de agua potable con la segunda versión de DOEFICO [2].

DOEFICO 2.0 trabaja bajo los mismos principios que su antecesor y con la misma finalidad, el control de la dosis óptima de coagulante en el proceso de tratamiento de agua potable, este software es más interactivo que la primera versión, su interfaz es amigable y su modo de operación es fácil de utilizar, posee nuevas herramientas las cuales permiten que el proceso pueda ser controlado tanto a criterio del operario como por las decisiones que el software toma sobre el proceso, DOEFICO 2.0 adquiere una decena de variables por medio de una tarjeta desarrollada he implementada específicamente para este fin, no existe posibilidad de expandir la cantidad de puertos de entrada y su tiempo de muestreo aunque es el adecuado para un buen funcionamiento, no se acomoda a la proyección de los ingenieros desarrolladores, por esta razón se presenta una propuesta nueva de actualización no solo del software sino de la instrumentación mínima necesaria para alcanzar niveles de automatización más altos.

DOEFICO 3.0 se presenta con mucha fuerza y gran aceptación por la empresa contratante, sus nuevas fortalezas lo convierten en una aplicación robusta con herramientas no tan solo aplicadas al proceso de tratamiento del agua, sino por las dependencias administrativas del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga. Para llevar esto a cabo se propone el cambio de la instrumentación que no se encuentra en óptimas condiciones y la adquirió de los equipos necesarios para que el nuevo sistema de control pueda desempeñarse de forma adecuada y pueda utilizar todo su potencial. [3]

## **1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE DOSIFICACIÓN**

El proceso de potabilización del agua comprende varias etapas, la más importante es llamada DOSIFICACION donde es aplicada una cantidad de sulfato de aluminio ( $AL_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ ) bajo supervisión de personal autorizado lo que permite que se formen flóculos en el agua.

La dosificación eficiente de sulfato aplicado por DOEFICO depende de variables significativas como el caudal del agua de entrada, la turbidez con que llega y otras variables que son analizadas y estudiadas para el diseño del software en donde la idea principal es que se genere una dosis óptima para que la salida de esta agua tratada se encuentre lo más limpia y libre de impurezas posible de manera que se eliminen las condiciones tanto de sobre dosificación que se traducen en un gasto innecesario de dosificante y por tanto un mayor gasto económico para la planta, como de evitar que el agua llegue a los consumidores con impurezas y suciedad. [4]

En la etapa de dosificación el agua debe ser analizada por los operarios de la planta de tratamiento, para esto, el acueducto cuenta con los siguientes equipos.

- a. Un variador de velocidad: Controla la frecuencia de las bombas dosificadoras, ver figura 1.

**Figura 1.** Variador de velocidad Danfoss VLT 2800.



Fuente: Danfoss.

- b. Tres bombas dosificadoras de sulfato líquido: cada bomba posee especificaciones diferentes, cada una es utilizada según las características del agua a tratar y de la cantidad de agua que ingresa a la planta, ver figura 2.

**Figura 2.** Bombas dosificadoras



Fuente: Autores

Un sensor de nivel: indica el nivel del agua en el tanque de almacenamiento, esta variable permite controlar la cantidad de agua ingresa a la planta para ser tratada, ver figura 3.

**Figura 3.** Indicador de nivel.



Fuente: Precision Digital.

- c. Un caudalímetro: indica cantidad de agua cruda o agua a tratar, ver figura 4.

**Figura 4. WTW IQ SENSOR NET.**

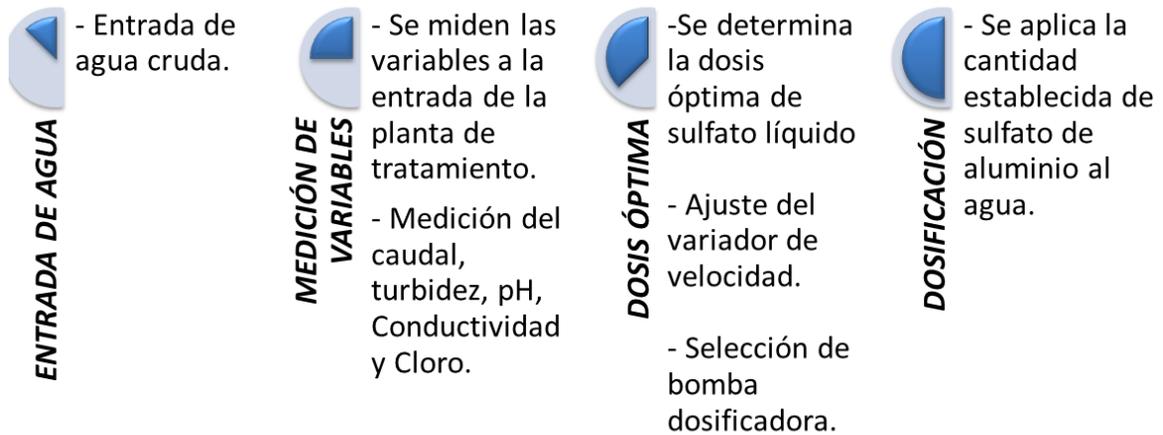


Fuente: WTW.

- d. Sensores WTW IQ SENSOR NET: miden variables tales como turbidez, pH, conductividad y cloro en diferentes etapas del proceso.

El ciclo de dosificación se realiza de la siguiente manera: el agua ingresa a la planta donde es censada, se mide el caudal y las variables químicas para poder estimar una dosis optima por el operario, cuando esta dosis es determinada, se calcula la velocidad del variador de velocidad proporcional al número de partes de sulfato líquido que desean aplicar al agua y por último se selecciona la bomba dosificadora que posea la capacidad necesaria para dosificar la cantidad del compuesto químico deseado, éste es agregado al agua mediante un arreglo de tuberías que viajan desde la central de máquinas hasta las estructura donde el agua seguirá el proceso normal de potabilización [5], ver figura 5.

**Figura 5.** Ciclo del proceso de dosificación usado en la PTAP de Bosconia.

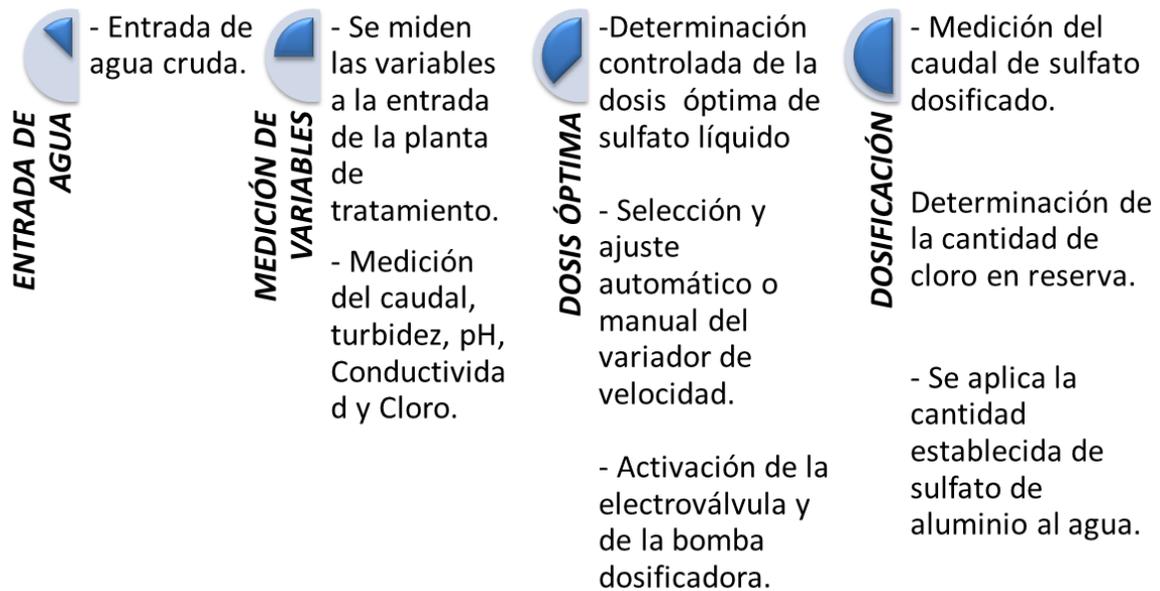


Fuente: Autores

## 2. INSTALACIÓN Y CONFIGURACIÓN

El nuevo ciclo de dosificación se realizará como se muestra en la figura 6, el agua ingresa a la planta donde es censada, se mide el caudal y las variables químicas para poder estimar una dosis óptima por el operario o por el sistema de control, se ajustará un variador de velocidad independiente por bomba dosificadora, automáticamente se activará la electroválvula correspondiente iniciando la dosificación de sulfato de aluminio al agua, durante su trayecto desde el cuarto de máquinas hasta la entrada de agua se realizará la medición del caudal de sulfato de aluminio dosificado y de cloro, estas mediciones aseguran que la cantidad de partes de insumos que se determinaron son las mismas que las bombas dosificadoras estas agregando al agua, es decir cierran el lazo de control del proceso de dosificación.

**Figura 6.** Ciclo dosificación después de automatización.



Fuente: Autores.

Para llevar esto a cabo se realizará la instalación y configuración de: tres electroválvulas, un sensor de flujo, dos variadores de velocidad y tres electrobásculas

## 2.1 INSTALACIÓN Y CONFIGURACIÓN DE ELECTROVÁLVULAS

Las electroválvulas cumplen la función de habilitar el paso del líquido que será dosificado, pueden ser controladas manual o automáticamente desde el cuarto de control.

Para la selección de las electroválvulas se tienen en cuenta parámetros tales como: diámetro de la tubería, presión, características físico químicas del líquido y el tipo de bobina, se seleccionaron dos tipos de electroválvulas las cuales se describen a continuación:

a. Electroválvulas Danfoss [6], ver figura 7.

**Figura 7.** Electroválvula Danfoss Modelo EV220B para líquidos y gases neutros y agresivos, DN 15-50 SS (Acero Inoxidable).



Fuente: Danfoss.

Esta electroválvula está diseñada para aplicaciones industriales, su estructura permite la conducción de líquidos o gases neutros y agresivos, ver tabla 1 y 2.

**Tabla 1.** Características principales Electroválvula EV220B.

Características Principales Electroválvula EV220B	
<b>Presión Diferencial</b>	Hasta 16 bar
<b>Viscosidad</b>	Hasta 50 cSt
<b>Temperatura Ambiente</b>	Hasta +80°C
<b>Temperatura Media</b>	Desde -30°C hasta +140°C
<b>Protección de la Bobina</b>	Hasta IP67
<b>Conexiones de Rosca</b>	Desde G½ hasta G2

Fuente: Datasheet Danfoss EV220B

**Tabla 2.** Datos técnicos Electroválvula EV220B.

Datos Técnicos para EV220B 25SS	
<b>Rango de Presión</b>	EPDM/NBR 0.3 - 16 bar
<b>Presión Máxima de Prueba</b>	25 bar
<b>Tiempo de Apertura</b>	300 ms
<b>Tiempo de Cerrado</b>	1000 ms
<b>Temperatura Ambiente</b>	Para el modelo BE(IP67) de 10Wac/18Mdc hasta +80°C
<b>Temperatura Media</b>	Para EPDM -30°C hasta +120°C y 140°C/4 bar (vapor a baja presión)
<b>Viscosidad Máxima</b>	Máxima de 50 cSt

Fuente: Datasheet Danfoss EV220B

b. Electroválvulas Norgren [7], ver figura 8.

**Figura 8.** Electroválvulas Norgren BuschJost de 2/2 vías



Fuente: Norgren BuschJost

**Tabla 3.** Datos técnicos Electroválvula Norgren Buschjost.

Características Válvula Estándar	
<b>Función de Conmutación</b>	Normalmente Cerrado
<b>Dirección de Flujo</b>	Determinado
<b>Presión Diferencial</b>	0.1 bar requerido (0.3 bar para EPDM)
<b>Temperatura del Fluido</b>	Desde -10°C hasta máx. +90°C
<b>Temperatura Ambiente</b>	Desde -10°C hasta máx. +50°C
<b>Posición de Montaje</b>	Opcional, preferible solenoide vertical arriba
Material Válvula Estándar	
<b>Cuerpo</b>	Acero Inoxidable (1.4408)
<b>Sello</b>	NBR
<b>Partes Internas</b>	Acero Inoxidable, PVDF

Fuente: Norgren BuschJost

Para la correcta instalación y puesta en marcha de las electroválvulas es necesario realizar cambios en la tubería, se realiza un bypass y se añaden válvulas manuales adicionales por seguridad para cuando alguna electroválvula salga de funcionamiento o cuando se desee realizar el mantenimiento en cualquiera de las bombas dosificadoras, ver figura 9 y tabla 4.

**Figura 9.** Antes y después instalación electroválvulas.



Fuente: Planta Física PTAP Bosconia

**Tabla 4.** Resumen tiempo de instalación electroválvulas.

Equipo	Cantidad	Acondicionamiento del lugar	Instalación Días	Cableado Días	Prueba Días	Tiempo Total Días
Electroválvulas	3	3	1	2	0.5	6.5

Fuente: Autores

## 2.2 INSTALACIÓN Y CONFIGURACIÓN DE ELECTROBÁSCULAS

La desinfección tiene por finalidad adicionar al agua en tratamiento la cantidad de cloro necesaria para destruir los microorganismos patógenos presentes en el agua y dificultar su desarrollo en el sistema de distribución y las instalaciones domiciliarias.

El cloro es suministrado por cilindros de acero los cuales son supervisados constantemente por el operador para conocer el comportamiento de la variable y determinar el gasto de cloro (ver figura 11), por consiguiente se instalan tres electrobásculas, con sus respectivos transmisores e indicadores de presión [8], las características principales que se tienen en cuenta están descritas en la tabla 5.

**Figura 10.** Indicadores de presión Signet 8450.



Fuente: Georg Fischer Signet

**Tabla 5.** Especificaciones técnicas Transmisor Signet8450 de Presión

Especificaciones Técnicas Transmisor de Presión Signet 8450	
<b>Materiales</b>	
<b>Cubierta</b>	PBT
<b>Teclado</b>	Sello en las 4 teclas con silicona
<b>Cubierta del Panel</b>	Neopreno
<b>Ventana</b>	Poliuretano recubierto de policarbonato
<b>Datos Eléctricos</b>	
<b>Alimentación</b>	12 to 24 VDC $\pm$ 10% regulados
<b>Corriente de Salida</b>	4 a 20 mA
<b>Máxima Impedancia de lazo</b>	50 $\Omega$ max. @ 12 V 325 $\Omega$ max. @ 18 V 600 $\Omega$ max. @ 24 V
<b>Frecuencia de Actualización</b>	100 ms
<b>Precisión</b>	$\pm$ 0.03 mA
<b>Ambiente</b>	
<b>Temp. de Operación</b>	Desde -10°C hasta 70°C
<b>Temp. de Almacenado</b>	Desde -15°C hasta 80°C
<b>Humedad Relativa</b>	Desde 0 hasta 95%, sin condensación

Fuente: Datasheet Transmisor de Presión Signet 8450

Cada electrobásculas es instalada con su transmisor de presión correspondiente el cual es ubicado he instalado en el rack de control, para su posterior vinculación al sistema de control.

**Figura 11.** Antes y después instalación electrobásculas.



Fuente: PTAP Bosconia.

**Tabla 6.** Resumen tiempo de instalación electrobásculas.

Equipo	Cantidad	Acondicionamiento del lugar	Instalación Días	Cableado Días	Prueba Días	Tiempo Total Días
Electrobásculas	3	0	3	2	0.5	5.5

Fuente: Autores.

### 2.3 INSTALACIÓN Y CONFIGURACIÓN DE VARIADORES DE VELOCIDAD

El sistema actual de la planta de tratamiento controla 3 bombas dosificadoras con un solo variador de velocidad, se requiere que el control se realice independientemente en cada una de las bombas, para esto se instalan dos variadores adicionales, ver figura 12.

**Figura 12.** Instalación variadores de velocidad VLT 2800 Danfoss.



Fuente: PTAP Bosconia

Los variadores instalados en el rack de control poseen las siguientes características [9], ver tabla 7:

- Ajuste automático del motor, asegura de forma óptima compatibilidad entre el convertidor y el motor proporcionando un mayor rendimiento.
- Controlador PID otorgando óptimo control de proceso.
- Interrupción de arranque/parada que permite alta repetitividad de la precisión de posicionamiento
- Detección de funcionamiento en seco sin necesidad de equipo de detección específico.
- Comunicación de bus de campo el cual permite el control y la vigilancia de los convertidores de frecuencia desde un PC o un PLC.

**Tabla 7.** Características Variador de velocidad Danfoss VLT2800.

<b>Alimentación de red (L1, L2, L3)</b>	
Tensión de alimentación	200-240 V $\pm$ 10%, 380-480 V $\pm$ 10%
Frecuencia de alimentación	50/60 Hz
Factor de potencia (cos $\phi$ ) prácticamente uno	(> 0,98)
Conmutación en la alimentación de la entrada L1, L2, L3	1-2 veces/minuto
<b>Datos de salida (U, V, W)</b>	
Tensión de salida	0-100% de la tensión de red
Conmutación en la salida	Ilimitada
Tiempos de rampa	1-3600 segundos
Lazo cerrado	0-132 Hz
<b>Entradas digitales</b>	
Para arranque/parada, reinicio, termistor, etc.	5
Lógica	PNP o NPN
Nivel de tensión	0-24 V CC
<b>Salidas digitales</b>	
Núm. de salidas digitales	1
<b>Entradas analógicas</b>	
Núm. de entradas analógicas	2
Nivel de tensión	De -10 a +10 V (escalable)
Nivel de intensidad	De 0 ó 4 a 20 mA (escalable)
<b>Entradas de pulsos</b>	
Núm. de entradas de pulsos	2
Nivel de tensión	0-24 V CC (lógica positiva PNP)
Precisión de la entrada de pulsos	(0,1 - 110 kHz)
<b>Salidas analógicas</b>	
Salidas analógicas programables	1
Rango de intensidad en salida analógica	0/4-20 mA
<b>Salidas de relé</b>	
Núm. de salidas de relé	1
<b>Comunicación de bus de campo</b>	
RS485	
<b>Temperatura ambiente</b>	
45° C	

Fuente: Datasheet Variador de Velocidad Danfoss VLT2800

**Tabla 8.** Resumen tiempo de instalación Variadores de velocidad Danfoss

Equipo	Cantidad	Acondicionamiento del lugar	Instalación Días	Cableado Días	Prueba Días	Tiempo Total Días
Variadores de velocidad	2	0	1	1	0.5	2.5

Fuente: Autores

## 2.4 INSTALACIÓN Y CONFIGURACIÓN DE SENSOR DE FLUJO

Anteriormente se obtenía la cantidad de flujo dosificado con tablas en las cuales se relacionan el efecto del variador de velocidad en las bombas con la cantidad de líquido dosificado, es decir mediante un aforo de cada una de las bombas se estimaba una cantidad de dosis para dosificar, esta medición no es exacta debido a que por diferentes factores las bombas cambian su comportamiento ya sea por desgaste en el tiempo o por los mantenimientos preventivos que se les realizan.

El sensor de flujo (ver figura 13) es el equipo más importante ya que el flujo de salida de coagulante es la variable que asegura se esté dosificando apropiadamente, en otras palabras el sensor de flujo cierra el lazo de control y no importando los factores que afectan las bombas siempre asegurara el valor de dosis deseado a la salida, es por esto que se implementó el sensor KROHNE con las siguientes características [10], ver tabla 9:

Los caudalímetros electromagnéticos están diseñados exclusivamente para medir el caudal y la conductividad de un medio líquido conductivo eléctricamente. El equipo de medida es una combinación de uno a dos sensores de medida tipo abrazadera y un convertidor de señal.

**Figura 13.** Sensor transmisor indicador de flujo KROHNE.



Fuente: KROHNE

**Tabla 9.** Características técnicas Sensor de flujo KROHNE.

<b>Características Técnicas Sensor de Flujo IFC100</b>	
<b>Sistema de Medida</b>	
<b>Principio de Medida</b>	Ley de Faraday (de inducción)
<b>Rango de Aplicación</b>	Medición continua del caudal volumétrico, velocidad de caudal, conductividad, caudal en masa (a densidad constante), temperatura de la bobina del sensor de medición.
<b>Precisión de medida</b>	
<b>Condiciones de referencia</b>	Medio: agua Temperatura: 20°C / 68°F Presión: 1 bar / 14,5 psi Sección de entrada: $\geq 5$ DN
<b>Error máximo de medida</b>	$\pm 0,3\%$ del valor medido $\pm 1$ mm/s, dependiendo del sensor de medición.
<b>Repetibilidad</b>	$\pm 0,1\%$
<b>Temperatura y Presión (Medio: Agua)</b>	
<b>Temperatura de Proceso</b>	20°C / 68°F
<b>Presión</b>	1 bar / 14,5 psi
<b>Propiedades químicas</b>	
<b>Conductividad eléctrica</b>	Todos los medios excepto agua: $\geq 5 \mu\text{S/cm}$ Agua: $\geq 20 \mu\text{S/cm}$
<b>Condición física</b>	Medios líquidos, conductivos
<b>Materiales</b>	
<b>Alojamiento del convertidor de señal</b>	Aluminio fundido (revestido de poliuretano)
<b>Sensor de medición</b>	Para los materiales del alojamiento, las conexiones de

	proceso, los recubrimientos, los electrodos de puesta a tierra y las juntas, vaya a los datos técnicos del sensor de medición.
<b>Conexión Eléctrica</b>	240 VAC + 5% se incluye en el rango de tolerancia. 12...24 VDC (-55% / +30%); sólo disponible para la versión no Ex 12 VDC - 10% se incluye en el rango de tolerancia. 24 VAC/DC (AC: -15% / +10%; DC: -25% / +30%); sólo disponible para la versión Ex 12 V no se incluye en el rango de tolerancia.
<b>Alimentación</b>	100-230 VAC (-15% / +10%), 50/60 Hz; 240 VAC + 5% se incluye en el rango de tolerancia. 12-24 VDC (-55% / +30%) 12 VDC - 10% se incluye en el rango de tolerancia. 24 VAC/DC (AC: -15% / +10%; DC: -25% / +30%) 12 V no se incluye en el rango de tolerancia.
<b>Descripción de abreviaciones empleadas</b>	Uext = voltaje externo; RL = carga + resistencia; Uo = voltaje de terminal; Inom = corriente nominal
<b>Salidas de Corriente</b>	
<b>Datos de salida</b>	Caudal volumétrico, caudal en masa, valor de diagnóstico, velocidad de caudal, temperatura de la bobina, conductividad.
<b>Programaciones</b>	Q = 0%: 0-20 mA; Q = 100%: 10-21,5 mA Identificación del error: 0-22 mA
<b>Datos de Operación</b>	
<b>Activo</b>	U <sub>int, nom</sub> = 20 VDC I ≤ 22 mA RL ≤ 750 Ω
<b>Pasivo</b>	U <sub>ext</sub> ≤ 32 VDC I ≤ 22 mA U <sub>0</sub> ≤ 2 V a I = 22mA RL ≤ (U <sub>ext</sub> - U <sub>0</sub> ) / I <sub>máx</sub>

Fuente: Datasheet Convertidor KROHNE de Señal.

Para su instalación y puesta en marcha son tenidos cuentas los protocolos y las recomendaciones del fabricante:

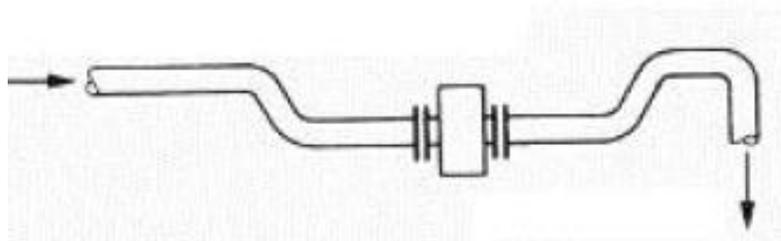
**Figura 14.** Instalación sensor de flujo KROHNE.



Fuente: PTAP Bosconia.

- a. Se modifica la estructura de la tubería de sulfato dosificado para el perfecto acople del sensor de flujo.
- b. El sensor de flujo no es ubicado en la sección más alta de la tubería.

**Figura 15.** Especificaciones de instalación del fabricante Sensor de flujo KROHNE.



Fuente: Datasheet Convertidor KROHNE de Señal.

- c. Su instalación en superficie brinda rigidez y estabilidad, evitando así vibraciones que puedan alterar el buen funcionamiento del equipo de medición.

**Tabla 10.** Resumen tiempo de instalación Sensor de flujo KROHNE

Equipo	Cantidad	Acondicionamiento del lugar	Instalación Días	Cableado Días	Prueba Días	Tiempo Total Días
Sensor de flujo	1	2	1	1	1	5

Fuente: Autores

### 3. CABLEADO Y CONEXIÓN DE EQUIPOS

Se realizó el cableado eléctrico y de datos para cada equipo instalado (Electroválvulas, Electrobásculas, Variadores de velocidad, Sensor de Flujo) teniendo en cuenta las respectivas protecciones y la organización del cableado.

Para la protección externa del cable se utiliza manguera coraza metálica tanto para el cableado eléctrico, como para el cableado de comunicación 4-20mA (ver figura 16), se ubican también cajas de paso cada 15 o 20 mts desde los equipos hasta el rack de control como puntos de mantenimiento y organización de cables.

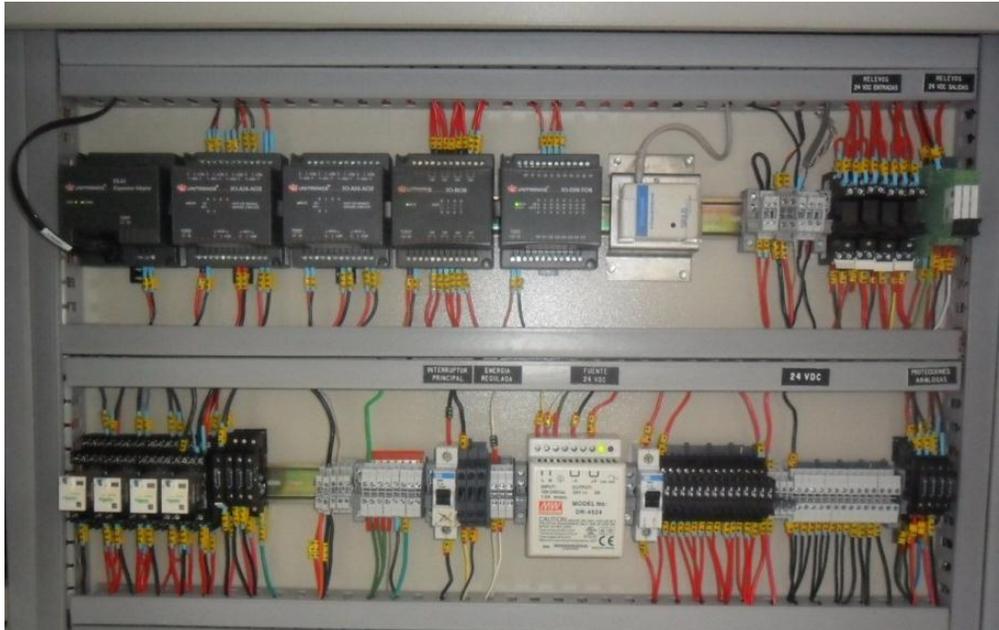
**Figura 16.** Instalación, cableado y protecciones externas.



Fuente: PTAP Bosconia

Para centralizar la información, todas las señales de los equipos son conectadas en módulos I/O análogos y digitales de un PLC.

**Figura 17.** Instalación cableada en rack



Fuente: PTAP Bosconia

Todas las conexiones en rack, son realizadas con el cable de instrumentación adecuado para garantizar la comunicación y la alimentación de los equipos, se instalan relés, protecciones análogas y digitales y se clasifica y etiqueta todo el cable para hacer más fácil la documentación, la realización de planos de conexión y la identificación de futuras fallas.

#### **4. PRUEBAS DE INSTALACIÓN Y OPERACIÓN**

Las pruebas son desarrolladas siguiendo un protocolo establecido para la identificación de fallos y para la organización de las señales en el PLC, Se realizan pruebas de cableado eléctrico, pruebas de comunicación, pruebas de funcionamiento del equipo y pruebas de configuración.

Todas las pruebas se realizan con el fin de encontrar fallos en el cableado y en los equipos:

- a. Para pruebas de cableado eléctrico y de comunicación se verifica la continuidad eléctrica en cada cable, además se tiene en cuenta las distancias de los cables instalados, las posibles fuentes de ruido, el tipo de señal y de cable, el protocolo de comunicación y las conexiones físicas.
- b. Las pruebas de funcionamiento y de configuración permiten igualmente determinar algún tipo de avería en el equipo o defecto de fábrica, de ser así, se reporta la configuración realizada al equipo y el tipo de problema que presenta.
- c. Se documenta y se marcan todos los cables, el modulo del PLC usado y la entrada o salida al cual están conectados, esto con el fin de llevar un reporte de instalación y usar esta información para generar los planos de conexión de los equipos.

#### **5. PROYECCIÓN ECONÓMICA**

Se busca medir y comparar el consumo de sulfato de aluminio líquido usado para el tratamiento de agua cruda en la P.T.A.P. Bosconia desde el 2008 cuando no se contaba con ningún tipo de automatización hasta la fecha en la cual se encuentra el proceso de automatización denominado "DOEFICO".

Se seleccionó información de los históricos generales de operación de la P.T.A.P. BOSCONIA datos generados por la plataforma DOEFICO2.0, con los siguientes criterios:

- Meses de producción en los cuales se trabajó en su mayoría con Sulfato líquido antes de DOEFICO2.0.
- Meses de producción en los cuales se trabajó en su mayoría con sulfato líquido y trabajo DOEFICO2.0.
- Meses en los cuales en su mayoría de días trabajó DOEFICO2.0.

### 5.1 Meses en los cuales trabajo en su mayoría de días DOEFICO 2.0.

La fuente de los siguientes datos son los historiales generados por DOEFICO 2.0

**Tabla 11.** Meses trabajados con DOEFICO 2.0.

MES	AÑO	DIAS TRABAJADOS DOEFICO2
Oct	2009	23
Ene	2010	27
Feb	2010	28
Mar	2010	31
Abr	2010	30
May	2010	24
Oct	2010	15
Nov	2010	23
Dic	2010	31
Ene	2011	31
Feb	2011	28
Mar	2011	8
Abr	2011	20
May	2011	19
Jun	2011	30
Jul	2011	31
Ago	2011	15
Sep	2011	23
Oct	2011	18

Fuente: Autores.

## 5.2 Meses de producción en los cuales se trabajó con sulfato líquido antes y durante DOEFICO2.0

Meses de trabajados sin sistema de automatización (Sin Sombreado) y meses trabajados con sistema de automatización (Sombreado en verde y celeste).

**Tabla 12.** Meses trabajados con sulfato líquido con y sin DOEFICO 2.0.

Meses	BOSCONIA									
	Agua Producida (L)	Consumo			Turbiedad					
		Consumo Solido (Kg)	Consumo Líquido (Kg)	SULFATO (Sol y Liq)	TURBIEDAD Máxima	TURBIEDAD Mínima	TURBIEDAD Promedio	COLOR Máximo	COLOR Mínimo	COLOR Promedio
ene-08	1.223.761	2.175	48.340	26.345	750,00	6,80	52,44	60	1	10
feb-08	1.314.672	2.550	69.898	37.499	1.720,00	16,00	87,14	150	3	21
jun-08	1.233.978	125	54.197	27.224	3.850,00	18,00	85,00	95	3	12
jul-08	1.089.901	150	47.071	23.686	421,00	20,00	63,69	61	2	11
ene-09	1.031.443	0	41.699	20.850	630,00	12,00	66,62	74	4	17,43
abr-09	902.101	0	50.551	25.276	1.100,00	34,00	169,01	185	7	27,87
may-09	1.029.111	0	59.282	29.641	3.300,00	25,00	178,23	280	3	26,38
jun-09	858.420	0	41.265	20.633	1.210,00	26,00	123,08	194	4	17,75
jul-09	982.417	50	36.470	18.285	450,00	24,00	65,91	108	5	14,21
ago-09	1.030.084	3750	38.071	22.786	280,00	25,00	61,23	59	5	16,87
ene-10	1.443.244	25	37.668	18.859	1.950,00	8,00	50,25	510	3	13,33
feb-10	1.695.661	0	55.795	27.898	350,00	34,00	77,19	51	8	19,78
mar-10	2.056.829	6025	67.209	39.630	580,00	14,00	77,15	68	2	19,37
abr-10	1.277.240	2350	71.087	37.894	2.300,00	14,00	199,53	380	9	30,17
dic-10	1.899.432	0	159.755	79.878	7.860,00	59,00	663,15	94	3	22,38
ene-11	1.927.574	0	77.881	38.941	1.650,00	29,00	136,81	41	8	15,67
feb-11	1.869.396	0	92.357	46.179	5.100,00	21,00	289,77	130	4	19,09
jun-11	2.023.451	50	102.824	51.462	3.400,00	30,00	287,96	75	5	15,61
jul-11	1.945.922	0	68.507	34.254	1.740,00	24,00	84,53	77	6	13,15

Fuente: Autores.

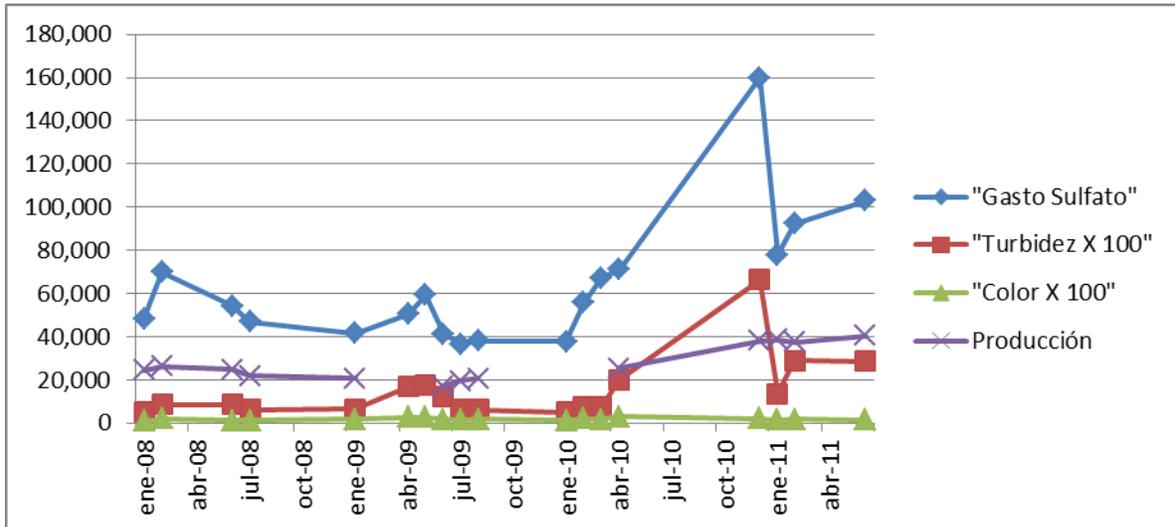
## 5.3 Relación de las variables

Para hallar una relación entre las variables se escalan las de menor magnitud con el fin de observar su comportamiento.

- Gasto de sulfato Solido Mensual.
- Turbidez promedio mensual (Multiplicada por 100)

- c. Color promedio mensual (Multiplicado por 100)
- d. Producción de litros de agua en el mes (Divida 50 veces).

**Figura 18.** Gasto de Sulfato Vs Variables Relevantes del Proceso (Escaladas)



Fuente: Autores.

De la anterior gráfica se concluye que la turbidez mensual varía directamente proporcionalmente al gasto de sulfato.

#### 5.4 Relación Costo beneficio de DOEFICO 2.0

Para conocer el alcance de DOEFICO 2.0, se usó los datos anteriormente seleccionados y se halló una relación matemática que indica el impacto económico del sistema de control en la P.T.A.P. BOSCONIA.

- a. Ecuación básica para calcular el costo (moneda corriente) en sulfato sólido para la producción del mes:

$$Costo\ Sulfato_{producción(\$)} = Costo\ Sulfato_{Unitario\left(\frac{\$}{Kg}\right)} \times Gasto\ Sulfato_{mes\ (Kg)}$$

b. Definición del estado del agua a tratar:

$$\text{Agua Cruda} = \text{Producción}_{\text{mes(L)}} \times \text{Turbidez Promedio}_{\text{mes(NTU)}}$$

El agua a tratar estará afectada dependiendo del nivel de turbidez promedio que se halla presentado en el mes, a esta relación se le llamara “Agua Cruda”.

Ahora se define el índice de gasto de sulfato, este mide la cantidad de sulfato necesario en Kilogramos para tratar un litro de agua afectada un NTU; este índice sale del cociente entre el gasto de sulfato para la producción mes y del agua Cruda.

c. Índice de gasto de sulfato:

$$\text{Indice Gasto de Sulfato} = \frac{\text{Gasto Sulfato(Kg)}}{\text{Agua Cruda(LxNTU)}}$$

d. Índice de gasto de sulfato (t):

$$\text{Indice Gasto de Sulfato}(t) = \frac{\text{Caudal Sulfato}(t) \frac{\text{L}}{\text{s}} \times \text{Densidad} \frac{\text{Kg}}{\text{L}}}{\text{Caudal Agua}(t) \frac{\text{L}}{\text{s}} \times \text{Turbidez}(t) \text{NTU}}$$

Este índice mide la calidad del proceso para dosificar el agua; en caso de seleccionar el mes “ene-08” en la tabla 12, en el cual la producción = 1.223.761 L, Gasto de Sulfato Líquido = 48.340 kg, Turbidez Promedio = 52,44 NTU; el Índice Gasto =  $753,2 \times 10^{-6} \frac{\text{Kg}}{\text{LNTU}}$ . Para las mismas características de agua se asume que este índice debe ser constante, si se incrementa significaría una sobredosificación, y si disminuye significaría una optimización del proceso.

Ahora se incluye las anteriores ecuaciones (c) y (d) en la ecuación (a), para lograr una ecuación general que permite calcular la relación costo beneficio con un índice determinado en el proceso de cualquier mes:

e. Costo de sulfato (t):

$$\text{Costo Sulfato mes}(\text{\$}) = \text{Indice Gasto Sulfato} \frac{\text{Kg}}{\text{LNTU}} \times \text{Costo Sulfato}_{\text{Unitario}} \left( \frac{\text{\$}}{\text{Kg}} \right) \times \text{Producción mes(L)} \times \text{Turbidez Promedio}_{\text{mes(NTU)}}$$

**Tabla 13.** Índice de costos.

Meses	BOSCONIA						Indice[Kg/(L*NTU)]
	Agua Producida	Consumo Liquido Sulfato	TURBIEDAD Promedio	COLOR Maximo	COLOR Minimo	COLOR Promedio	
ene-08	1.223.761	48.340	52,44	60	1	10	0,00075326
feb-08	1.314.672	69.898	87,14	150	3	21	0,00061014
jun-08	1.233.978	54.197	85,00	95	3	12	0,00051671
jul-08	1.089.901	47.071	63,69	61	2	11	0,0006781
ene-09	1.031.443	41.699	66,62	74	4	17,43	0,00060684
abr-09	902.101	50.551	169,01	185	7	27,87	0,00033156
may-09	1.029.111	59.282	178,23	280	3	26,38	0,00032321
jun-09	858.420	41.265	123,08	194	4	17,75	0,00039057
jul-09	982.417	36.470	65,91	108	5	14,21	0,00056323
ago-09	1.030.084	38.071	61,23	59	5	16,87	0,00060361
ene-10	1.443.244	37.668	50,25	510	3	13,33	0,00051939
feb-10	1.695.661	55.795	77,19	51	8	19,78	0,00042628
mar-10	2.056.829	67.209	77,15	68	2	19,37	0,00042354
abr-10	1.277.240	71.087	199,53	380	9	30,17	0,00027894
dic-10	1.899.432	159.755	663,15	94	3	22,38	0,00012683
ene-11	1.927.574	77.881	136,81	41	8	15,67	0,00029533
feb-11	1.869.396	92.357	289,77	130	4	19,09	0,0001705
jun-11	2.023.451	102.824	287,96	75	5	15,61	0,00017647
jul-11	1.945.922	68.507	84,53	77	6	13,15	0,00041648

Fuente: Autores.

De la anterior tabla 13 las celdas sin sombreado pertenecen a los meses donde no existía el sistema de automatización DOEFICO 2.0, en las celdas verdes se presenta el menor índice de todos los meses, de lo cual podemos calcular los siguientes datos:

Índice Gasto Sulfato:

- Promedio Meses antes de DOEFICO 2.0: 0,000537724; este es el índice que con el cual se calcula el costo de producción antes de DOEFICO 2.0.
- Promedio Meses durante DOEFICO2.0: 0,000302159; con este índice se calcula el costo de producción de DOEFICO 2.0 con Ahorro mínimo.

- Promedio Meses Óptimos (dic-10, ene-11, feb-11, jun-22) DOEFICO2.0: 0,00019228; con este índice se calcula el costo de producción con Ahorro máximo.

Con los anteriores valores se concluye:

- El promedio de los meses en que trabajo DOEFICO 2.0 tienen un Índice de Gasto de Sulfato menor que el índice de gasto antes de estar instalado el sistema de automatización.
- El Promedio del Índice de Gasto de Sulfato tiene dos valores, un promedio general y un promedio en el cual se presentó el índice más Óptimo de DOEFICO 2.0.

Los anteriores índices de gasto son usados para calcular el costo del sulfato para los meses de producción antes de la implementación del sistema de control, y estimar el ahorro (Máximo y Mínimo) si en dichos meses se hubiese usado DOEFICO 2.0; para lo cual encontramos lo siguiente:

**Tabla 14.** Tabla de relación de índice de gasto, costos de producción y ahorro vs tiempo.

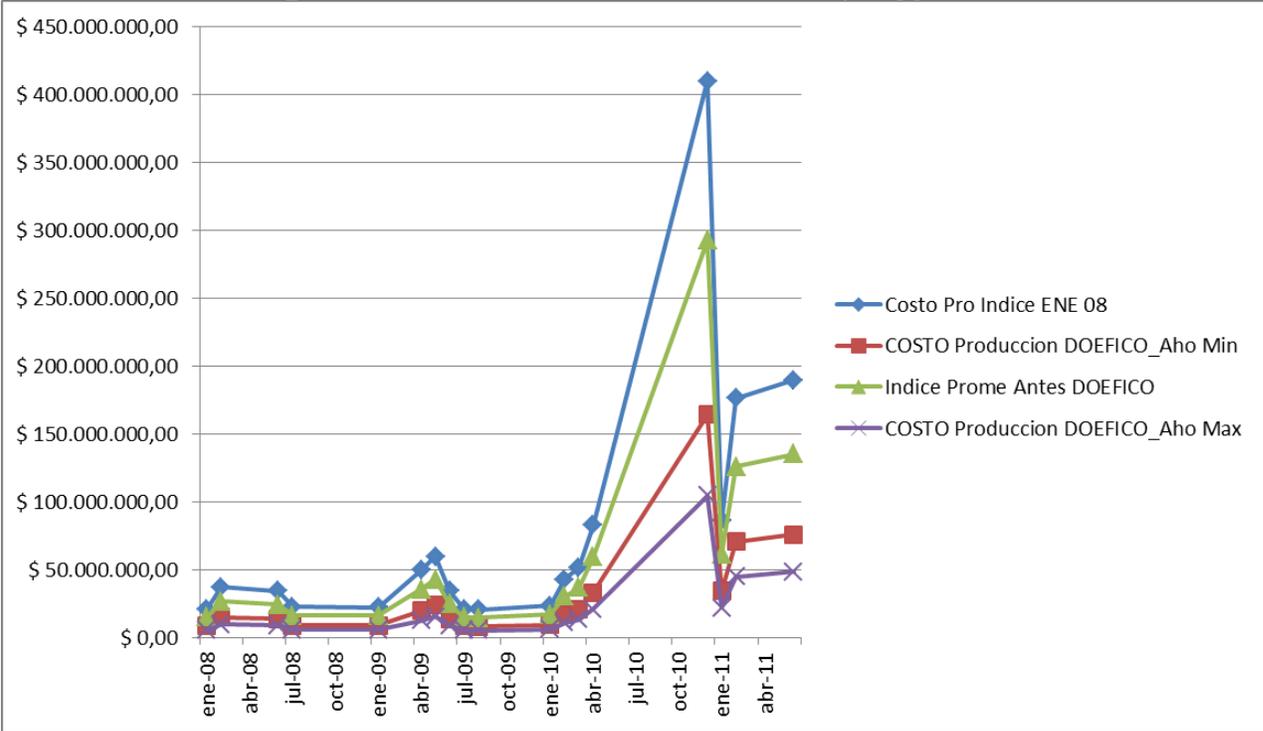
Meses	Indice[Kg/(L*NTU)]	Costo Pro Indice ENE 08	Costo Pro Indice promedio Antes DOEFICO	Costo Produccion Sin DOEFICO	COSTO Produccion DOEFICO_Ah o Max	COSTO Produccion DOEFICO_Ah o Min	Ahorro Maximo (Indice Minimo)	Ahorro Minimo (Indice Maximo)	Ahorro Promedio
ene-08	0,00075326	\$ 20.859.670	\$ 14.890.855	\$ 20.859.677	\$ 5.324.690	\$ 8.367.501	\$ 15.534.987	\$ 12.492.176	\$ 14.013.581
feb-08	0,00061014	\$ 37.237.722	\$ 26.582.469	\$ 30.162.385	\$ 9.505.392	\$ 14.937.277	\$ 20.656.993	\$ 15.225.108	\$ 17.941.051
jun-08	0,00051671	\$ 34.093.727	\$ 24.338.101	\$ 23.387.089	\$ 8.702.848	\$ 13.676.117	\$ 14.684.242	\$ 9.710.972	\$ 12.197.607
jul-08	0,0006781	\$ 22.563.499	\$ 16.107.148	\$ 20.312.078	\$ 5.759.614	\$ 9.050.962	\$ 14.552.464	\$ 11.261.115	\$ 12.906.790
ene-09	0,00060684	\$ 22.335.619	\$ 15.944.475	\$ 17.993.952	\$ 5.701.445	\$ 8.959.553	\$ 12.292.508	\$ 9.034.400	\$ 10.663.454
abr-09	0,00033156	\$ 49.558.221	\$ 35.377.563	\$ 21.813.768	\$ 12.650.352	\$ 19.879.435	\$ 9.163.416	\$ 1.934.333	\$ 5.548.874
may-09	0,00032321	\$ 59.619.890	\$ 42.560.172	\$ 25.581.369	\$ 15.218.718	\$ 23.915.501	\$ 10.362.651	\$ 1.665.867	\$ 6.014.259
jun-09	0,00039057	\$ 34.342.781	\$ 24.515.890	\$ 17.806.673	\$ 8.766.422	\$ 13.776.020	\$ 9.040.251	\$ 4.030.652	\$ 6.535.452
jul-09	0,00056323	\$ 21.047.248	\$ 15.024.760	\$ 15.737.534	\$ 5.372.572	\$ 8.442.744	\$ 10.364.963	\$ 7.294.790	\$ 8.829.876
ago-09	0,00060361	\$ 20.501.472	\$ 14.635.152	\$ 16.428.398	\$ 5.233.256	\$ 8.223.816	\$ 11.195.142	\$ 8.204.582	\$ 9.699.862
ene-10	0,00051939	\$ 23.573.495	\$ 16.828.142		\$ 6.017.428	\$ 9.456.105			
feb-10	0,00042628	\$ 42.544.969	\$ 30.371.093		\$ 10.860.132	\$ 17.066.188			
mar-10	0,00042354	\$ 51.580.109	\$ 36.820.906		\$ 13.166.464	\$ 20.690.481			
abr-10	0,00027894	\$ 82.837.857	\$ 59.134.518		\$ 21.145.393	\$ 33.228.993			
dic-10	0,00012683	\$ 409.433.775	\$ 292.277.830		\$ 104.513.061	\$ 164.237.372			
ene-11	0,00029533	\$ 85.718.990	\$ 61.191.240		\$ 21.880.838	\$ 34.384.710			
feb-11	0,0001705	\$ 176.077.098	\$ 125.694.154		\$ 44.945.868	\$ 70.630.323			
jun-11	0,00017647	\$ 189.396.957	\$ 135.202.651		\$ 48.345.928	\$ 75.973.358			
jul-11	0,00041648	\$ 53.466.830	\$ 38.167.758		\$ 13.648.073	\$ 21.447.307			

Fuente: Autores.

En la tabla 14 se observa que aunque en los meses en los cuales se trabajó con el sistema de control DOEFICO 2.0, la turbidez y la producción (agua tratada) del acueducto son mayores, el gasto de sulfato líquido fue mucho menor con respecto a los meses donde no se trabajó DOEFICO.

Si ahora calculamos la diferencia entre el costo de Producción Sin DOEFICO 2.0 y el Costo de Producción DOEFICO 2.0 ahorro Máximo y Mínimo, se obtiene como resultado el ahorro máximo y mínimo en cada uno de los meses. Finalmente se promedia cada cantidad de ahorro mensual, el cual da como resultado mínimo de \$ **8.085.399,66** y máximo de \$ **12.784.761,65** pesos m/cte (Ahorro en sulfato). En promedio un Ahorro de \$ **10.435.080,66** pesos m/cte mensual (Ahorro en sulfato).

**Figura 19.** Relación índice costos vs tiempo. [ ]



Fuente: Autores.

Se concluye que el ahorro calculado DOEFICO 2.0 es en promedio de 45% de sulfato líquido cada mes, con la implementación de la instrumentación y la



## RECOMENDACIONES

Todo sistema de automatización requiere de un mantenimiento preventivo y correctivo para un buen funcionamiento de la planta y para evitar que la producción se detenga, los sensores encargados de adquirir las diferentes variables a través de toda la planta son equipos de vital importancia debido a que sus mediciones son el punto de partida para la toma de decisiones, su medición debe ser rápida y con el mínimo error posible. Estos sensores se encuentran en permanente contacto con el agua, impurezas y movimientos bruscos, es por esto que se recomiendan un ajuste por semana o cada 15 días para mantener la integridad del sistema de adquisición y por ende el sistema de control.

Los operadores del sistema de control deber conocer los equipos instalados, su función en la planta de tratamiento y su forma de control, es importante revisar las hojas de especificaciones, los manuales de operación y los recursos entregados en las capacitaciones con el fin de despejar dudas y manipular de forma adecuada el sistema automático de control.

El software de control DOEFICO 3.0 recientemente implementado reúne la experiencia adquirida en sus anteriores versiones, esta nueva actualización puede generar esporádicamente algún tipo de error, se recomienda documentar el error para ser corregido con posterioridad en futuras versiones.

## CONCLUSIONES

Se realizó la instalación de equipos para el monitoreo y control del proceso de potabilización de agua con el fin agregar nuevas variables y datos necesarios para la buena determinación de la dosis óptima, se cumplieron las condiciones de entrega y las pruebas indicaron el óptimo funcionamiento de la planta con el nuevo sistema de control.

Las pruebas realizadas a los equipos instalados en la planta de tratamiento de agua para la dosificación de coagulante, no solo determinan la correcta instalación y el buen funcionamiento de éstos, también aportan información importante para la solución de futuras fallas.

El software de instrumentación virtual LabVIEW ha sido una herramienta fundamental para el desarrollo del actual proyecto de instalación y vinculación de la nueva instrumentación en el proceso de potabilización del agua, la programación realizada bajo este lenguaje permite vincular de manera fácil y directa el servidor de control y el PLC usado a través del protocolo modbus/TCP.

La proyección económica determina satisfactoriamente el ahorro generado después de la implementación del sistema de control en la planta de tratamiento de agua potable, indica con claridad que aunque la producción y la turbidez son más altas, este sistema de control utiliza menos recursos (sulfato de aluminio), el ahorro promedio mensual es de \$ **10.435.080,66** COP.

El ahorro promedio equivale al 45% de gasto de sulfato con respecto a los meses donde no se existía un sistema de control automático, mediante la implementación de éste se mejoran tiempos de respuesta, se tiene un mejor monitoreo de las variables, y un software de control que aprende constantemente el cual permite reducir el error en la cantidad de sulfato aplicado, con esto se proyecta aumentar el ahorro promedio a 55% en un año.

## BIBLIOGRAFÍA

[1] ACUÑA, Zambrano. Decsy Liliana. Modelo de Correlación entre las Variables Medibles en Línea que Afectan el Proceso de Determinación de la Dosis Optima de Coagulante en la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Bosconia. Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A. E.S.P. Bucaramanga, 2008.

[2] AVENDAÑO, Javier F.; VILLAMIZAR, Erwin I. Diseño de un sistema SCADA para la dosificación eficiente de coagulante de la Planta de Tratamiento de Agua Potable Bosconia del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga. Universidad Pontificia Bolivariana-Seccional Bucaramanga, 2008.

[3] DIAZ, Mario A.; Actualización y mejora del software "DOEFICO" desarrollado para la dosificación eficiente de coagulante en plantas de tratamiento de agua potable. Universidad Pontificia Bolivariana-Seccional Bucaramanga, 2010

[4] Manual de operación de la Planta de tratamiento de Agua Potable Bosconia, Acueducto Metropolitano de Bucaramanga, 2004.

[5] PÉREZ, Parra. Jorge Arturo. Manual de Potabilización del Agua. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Facultad de Minas, Posgrado en Aprovechamientos de recursos hidráulicos. Departamento de ingeniería civil. 3ra edición.

## WEBGRAFÍA

[6] Hoja de Especificaciones de Electroválvulas Danfoss servoaccionadas de 2/2 vías modelo EV220B. Recuperado en Junio 29-2011, a partir de: <http://heating.danfoss.com/PCMPDF/PD200D202.pdf> Página 1-12

[7] Hoja de Especificaciones de Electroválvulas Norgren BuschJost de 2/2 vías. Recuperado en Agosto 15-2011, a partir de: [http://www.buschjost.com/fileadmin/user\\_upload/Ventildatenbank/product\\_datasheets/E82730.pdf](http://www.buschjost.com/fileadmin/user_upload/Ventildatenbank/product_datasheets/E82730.pdf) Paginas 1-4

[8] Transmisor Signet8450 de Presión. Recuperado en Septiembre 10-2011, a partir de: [http://www.georgfischer.fr/go/B7C5059919993E1D4BA92ECD717513F4?action=GF\\_DocumentDownload&doc\\_uuid=B7C5059919993E1D4BA92ECD717513F4](http://www.georgfischer.fr/go/B7C5059919993E1D4BA92ECD717513F4?action=GF_DocumentDownload&doc_uuid=B7C5059919993E1D4BA92ECD717513F4) Página 1.2

[9] Hoja de Especificaciones Variador Danfoss de Velocidad VT2800. Recuperado en Agosto 25-2011, a partir de: <http://www.danfoss.com/NR/rdonlyres/EB2ACFD9-9A0A-48EB-936D-883421E0B257/0/vlt2800.pdf> Página 1-5

[10] Manual de funcionamiento del Convertidor KROHNE de señal para caudalímetros electromagnéticos IFC100. Recuperado en Agosto 25-2011, a partir de: [http://www.krohne.com/html/dlc/MA\\_IFC100\\_es\\_101104\\_4001013501\\_R04.pdf](http://www.krohne.com/html/dlc/MA_IFC100_es_101104_4001013501_R04.pdf) Pagina 1-112

# **ANEXOS**

# ANEXO 1. Plano de Conexiones de la Instrumentación en la PTAP de Bosconia

