

**DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO DE LOS
TANQUES DESARENADORES DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES**

**INVESTIGADOR:
RONALD LEONARDO OSORIO MOLINA**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
ESPECIALIZACIÓN EN CONTROL E INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL
BUCARAMANGA
2017**

**DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO DE LOS
TANQUES DESARENADORES DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES**

**INVESTIGADOR:
RONALD LEONARDO OSORIO MOLINA**

**DIRECTOR DEL PROYECTO
PHD. OMAR PINZÓN ARDILA**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
ESPECIALIZACIÓN EN CONTROL E INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL
BUCARAMANGA
2017**

Nota de Aceptación

Firma de Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Bucaramanga, 11 de Diciembre de 2017

Agradecimientos

A Dios, por darme vida, salud y una hermosa familia, por haberme dado la fuerza y la oportunidad de terminar este proceso de constante aprendizaje, satisfactoriamente.

A mis padres Luis Alonso Osorio Salazar y Lucielita Molina Rincón, por su apoyo moral y económico durante la realización del proyecto.

A mis hermanos Cristian Camilo y Luis Alonso Osorio Molina, quienes estuvieron pendientes de mí durante la elaboración de éste documento.

A mi director, el doctor Omar Pinzón Ardila, por todos sus consejos profesionales y personales en este tiempo de continuo aprendizaje.

Ronald Leonardo Osorio Molina

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	12
2. OBJETIVOS.....	13
2.1. General.....	13
2.2. Específicos	13
3. MARCO TEÓRICO	14
3.1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	14
3.1.1. Tanques Desarenadores.....	14
3.1.2. Sistema de Control Automático.....	15
3.1.3. Sistema de Control Realimentado.....	15
3.1.4. Control en Lazo Abierto.....	16
3.1.5. Control en Lazo Cerrado.....	16
3.1.6. Instrumentación Electrónica	17
3.1.7. Características Constructivas.....	19
3.1.8. Características Técnicas	20
3.1.9. Buses de Campo.....	21
4. METODOLOGÍA.....	22
4.1. INVESTIGACIÓN.....	22
4.2. PROCEDIMIENTO	22
4.2.1. Descripción del funcionamiento de los tanques desarenadores.	23
4.2.2. Equipos de Instrumentación.....	26
4.2.3. Transmisor Indicador de Nivel VEGAPULS 62 (LIT-0401).....	26
4.2.4. Sensor de PH Sensolyt 700IQ marca WTW (QE-0402)	29
4.2.5. Transmisor Indicador de PH Stratos Pro A2 (QIR-0402).....	34
4.2.6. Sensor de Conductividad TetraCon 700IQ marca WTW (QE-0403) ..	36
4.2.7. Transmisor Indicador de Flujo Promag 53 Endress+Hauser (FIT-0404)	40
4.2.8. Identificación de los lazos de control.....	43
4.2.9. Sistema de control Distribuido (DCS).....	44
4.2.10. Niveles de jerarquía de control	47

4.2.11.	Cambios en los niveles de control	49
4.2.12.	Modo de control de los sistemas, equipos y dispositivos	51
4.2.13.	Selección del modo de control de los sistemas, equipos o dispositivos	51
4.2.14.	Control desde el Panel de Control Local (PCL)	51
4.2.15.	Control desde el Panel de Control Central (PCC)	52
4.2.16.	Control desde el Centro de Control de Motores (CCM)	53
4.2.17.	Control desde el Controlador de Proceso (COP)	53
4.2.18.	Control desde las Estaciones de Operación (EOP)	54
4.2.19.	Descripción de la arquitectura del sistema de control	54
5.	RESULTADOS	60
6.	RECOMENDACIONES	61
7.	CONCLUSIONES	62
8.	BIBLIOGRAFÍA	63

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Símbolos de Dispositivos y funciones de instrumentación.....	18
Tabla 2. Datos técnicos del transmisor indicador de nivel VEGAPULS 62	28
Tabla 3. Datos técnicos del sensor de PH (QE-0402) SensoLyt 700IQ.....	33
Tabla 4. Datos técnicos del sensor de PH (QE-0402) SensoLyt 700IQ.....	39

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de Instrumentación y Tubería Tanques Desarenadores.	14
Figura 2. Sistema en lazo cerrado sujeto a perturbaciones.	17
Figura 3. Procedimiento	22
Figura 4. Tanques Desarenadores	25
Figura 5. Transmisor Indicador de Nivel Profibus PA VEGAPULS 62	26
Figura 6. Datos de la variable de entrada para VEGAPULS 62.....	27
Figura 7. Sensor de PH Sensolyt 700IQ	29
Figura 8. Estructura del sensor de PH/ORP Sensolyt 700IQ.....	30
Figura 9. Estructura interna del sensor de PH Sensolyt 700IQ.....	31
Figura 10. Armadura SensoLyt con cadena de medición.	32
Figura 11. Transmisor Indicador de pH Stratos Pro	34
Figura 12. Pantalla principal del transmisor – pantalla de medición	35
Figura 13. Sensor de Conductividad TetraCon 700IQ	36
Figura 14. Campo de líneas de flujo y de tensión Tetra Con 700IQ	37
Figura 15. Estructura del sensor de conductividad Tetra Con 700IQ.....	38
Figura 16. Transmisor Indicador de Flujo Endress+Hauser Promag 53	40
Figura 17. Principio de medición electromagnética de flujo.	41
Figura 18. Errores de montaje para el sensor de flujo Promag 53.....	42
Figura 19. Instalación correcta del transmisor de flujo Promag 53.	42
Figura 20. Lazos de Control.....	43
Figura 21. Niveles jerárquicos de control.....	50
Figura 22. Arquitectura del sistema de control de los tanques desarenadores.....	55
Figura 23. Gabinete de Bus de Campo.....	56
Figura 24. Protector de Segmentos.	57
Figura 25. Barrera de seguridad intrínseca.....	58

ANEXOS

- Anexo A. Visión General de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.pdf
- Anexo B. Estrategia de Control para la Línea de Entrada.pdf
- Anexo C. Lazos de control.pdf
- Anexo D. Arquitectura de control.pdf

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO DE LOS TANQUES DESARENADORES DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

AUTOR(ES): RONALD LEONARDO OSORIO MOLINA

PROGRAMA: Esp. en Control e Instrumentación Industrial

DIRECTOR(A): ÓMAR PINZÓN ARDILA

RESUMEN

En el presente documento se presenta la descripción de las pautas, rutinas y lazos de control del funcionamiento del sistema de control automático de los tanques desarenadores de una Planta de Tratamientos de Aguas Residuales, incluyendo los accionamientos y los diferentes niveles de control diseñados. Las condiciones de proceso consideradas para la realización de la ingeniería de control de los tanques desarenadores están basadas en los documentos y planos de proceso que se encuentran en los anexos; además se muestra la arquitectura de control implementada, la configuración de los lazos de control, la instrumentación utilizada y el sistema de control distribuido encargado de controlar el sistema.

PALABRAS CLAVE:

Tanque desarenador, transmisor de presión, nivel, sistema de control.

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: DESCRIPTION OF THE AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF TANKS
DESARINATORS OF A WASTEWATER TREATMENT PLANT

AUTHOR(S): RONALD LEONARDO OSORIO MOLINA

FACULTY: Esp. en Control e Instrumentación Industrial

DIRECTOR: ÓMAR PINZÓN ARDILA

ABSTRACT

This document presents the description of the guidelines, routines and control loops of the operation of the automatic control system of sand removal tanks of a Wastewater Treatment Plant, including the drives and the different levels of control designed. The process conditions considered for the performance of the control engineering of gritty tanks are based on the documents and process plans found in the annexes; It also shows the control architecture implemented, the configuration of the control loops, the instrumentation used and the distributed control system in charge of controlling the system

KEYWORDS:

Desander tank, pressure transmitter, level, control system.

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

1. INTRODUCCIÓN

El tratamiento de las aguas residuales se ha convertido hoy día en un tema de suprema importancia al momento de mitigar la contaminación causada por las acciones del hombre en el planeta tierra. El ser humano, en el afán de disminuir el impacto ambiental que ha recibido la tierra por los diferentes factores de contaminación, ha diseñado y construido plantas para tratar y descontaminar las aguas residuales denominadas Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales más conocidas comúnmente como “PTAR”.^[1]

La automatización y el control de los tanques desarenadores en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, ha sido una alternativa viable y eficiente para poder recuperar el agua reutilizada y de esta manera llegar a obtener hasta un 95 % de pureza en el producto final, contribuyendo positivamente con el medio ambiente.^[2]

Con esta investigación se pretende explorar y describir en detalle el funcionamiento del sistema de control automático de los tanques desarenadores en la etapa inicial de una planta de tratamiento de aguas residuales, denominada “tratamiento preliminar”. La descripción abarca una revisión de la arquitectura de control implementada, la configuración de los lazos de control, la instrumentación utilizada, los elementos finales de control y los procesadores encargados de controlar el sistema.

¹ METCALF, Eddy. Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. Ed. Mc.Graw-Hill (1998).

² OSORIO, Ronald Leonardo.

2. OBJETIVOS

2.1. General

- Describir el funcionamiento del sistema de control automático de los tanques desarenadores de una planta de tratamiento de aguas residuales.

2.2. Específicos

- Estructurar la arquitectura del sistema control, implementada en los tanques desarenadores de la planta de tratamiento de aguas residuales.
- Proponer el tipo de instrumentación utilizada para el control automático de los tanques desarenadores.
- Proponer los lazos de control asociados a todo el sistema de control para los tanques.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

3.1.1. Tanques Desarenadores

Los tanques desarenadores son cámaras diseñadas para permitir la separación gravitacional de sólidos minerales. Los tanques desarenadores se encargan de la retirada de las arenas y grasas que transportan las aguas residuales en la etapa de tratamiento preliminar, entre la estructura de rejillas y la estación de bombeo de entrada. Las arenas extraídas son bombeadas hacia los lavadores-clasificadores para su posterior transporte en contenedores fuera de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para su uso como relleno sanitario; las grasas extraídas, en cambio, son bombeadas hacia los tanques digestores o, si el proceso de la planta lo requiere, hacia la cámara de grasas del edificio de tratamiento preliminar, para su posterior paso al canal común de entrada a los canales de la estructura de rejillas, reiniciando, de este modo, su proceso preliminar. [3]

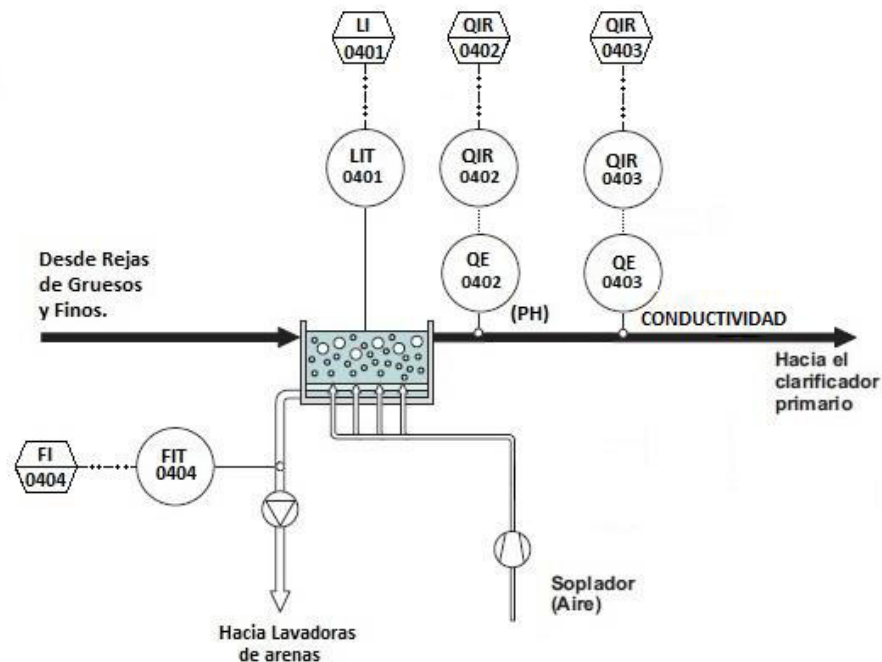


Figura 1. Diagrama de Instrumentación y Tubería Tanques Desarenadores.

Fuente: el autor.

³ LIZARAZO Jenny, ORJUELA Martha. Sistema de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en Colombia. Universidad Nacional seccional Medellín. Colombia. 2013. Pág 21.

En la *figura 1* se observa el PI&D simplificado de los tanques desarenadores de una planta de tratamiento de aguas residuales. Los materiales oleosos tales como las grasas y los aceites son separados del agua residual mediante flotación. La adición de aire mediante la estación de sopladores acelera el proceso natural de la separación de agua residual y materia. Las arenas y las grasas extraídas se acumulan en fosos para su posterior tratado o transporte en contenedores fuera de la planta.

En el [Anexo A. Visión General de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales](#), se encuentra el diagrama de proceso simplificado de una planta de tratamiento de aguas residuales. La descripción del sistema de control de la presente monografía se centra en la zona denominada como “Eliminación de grasa y arena”, la cual se muestra de una manera más detallada en el [Anexo B. Diagrama de Instrumentación y Tubería de los Tanques Desarenadores](#).

3.1.2. Sistema de Control Automático

El control automático ha desempeñado un papel vital en el avance de la ingeniería y la ciencia. El control automático se ha convertido en una parte importante e integral en los sistemas de vehículos espaciales, en los sistemas robóticos, en los procesos modernos de fabricación y en cualquier operación industrial que requiera el control de temperatura, presión, humedad, flujo, etc. [4]

Los sistemas de control automáticos están compuestos principalmente por la planta, un controlador, actuadores que operan la planta de acuerdo a las señales del controlador, y los sensores. En un sistema automático el sensor, controlador y elemento final de control deben estar conectados y sintonizados entre sí.

3.1.3. Sistema de Control Realimentado

Un sistema que mantiene una relación determinada entre la salida y la entrada de referencia, comparándolas y usando la diferencia como medio de control, se denomina sistema de control realimentado. Un ejemplo sería el sistema de control de temperatura de una habitación. Midiendo la temperatura real y comparándola con la temperatura de referencia (temperatura deseada), el termostato activa o desactiva el equipo de calefacción o de enfriamiento para asegurar que la temperatura de la habitación se mantiene en un nivel confortable independientemente de las condiciones externas.

⁴ OGATA Katsuhiko. Ingeniería de control moderna. Cuarta edición. Pearson Educación S.A. Madrid 2003. Pág 7.

Los sistemas de control realimentados no se limitan a la ingeniería, sino que también se encuentran en diversos campos ajenos a ella. Por ejemplo, el cuerpo humano es un sistema de control realimentado muy avanzado. Tanto la temperatura corporal como la presión sanguínea se conservan constantes mediante una realimentación fisiológica. De hecho, la realimentación realiza una función vital: hace que el cuerpo humano sea relativamente insensible a las perturbaciones externas, permitiendo que funcione de forma adecuada en un entorno cambiante. [5]

3.1.4. Control en Lazo Abierto

Los sistemas en los cuales la salida no tiene efecto sobre la acción de control se denominan sistemas de control en lazo abierto. En otras palabras, en un sistema de control en lazo abierto no se mide la salida ni se realimenta para compararla con la entrada. Un ejemplo práctico es una lavadora. El remojo, el lavado y el centrifugado en la lavadora operan con una base de tiempo. La máquina no mide la señal de salida, que es la limpieza de la ropa.

En cualquier sistema de control en lazo abierto, la salida no se compara con la entrada de referencia. Así, a cada entrada de referencia le corresponde una condición de operación fija; como resultado de ello, la precisión del sistema depende de la calibración. Ante la presencia de perturbaciones, un sistema de control en lazo abierto no realiza la tarea deseada. En la práctica, el control en lazo abierto sólo se usa si se conoce la relación entre la entrada y la salida y si no hay perturbaciones internas ni externas. Es evidente que estos sistemas no son de control realimentado. Obsérvese que cualquier sistema de control que opere con una base de tiempo está en lazo abierto. Por ejemplo, el control de tráfico mediante señales operadas con una base de tiempo es otro ejemplo de control en lazo abierto. [5]

3.1.5. Control en Lazo Cerrado

Los sistemas de control realimentados se denominan también sistemas de control en lazo cerrado. En la práctica, los términos control realimentado y control en lazo cerrado se usan indistintamente. En un sistema de control en lazo cerrado, se alimenta al controlador la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación (que puede ser la propia señal de salida o una función de la señal de salida y sus derivadas y/o integrales), con el fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor deseado. El término

⁵ OGATA Katsuhiko. Ingeniería de control moderna. Cuarta edición. Pearson Educación S.A. Madrid 2003. Pág 8.

control en lazo cerrado siempre implica el uso de una acción de control realimentado para reducir el error del sistema. [6]

La *figura 2* muestra el diagrama de bloques de un sistema de control en lazo cerrado sujeto a perturbaciones.

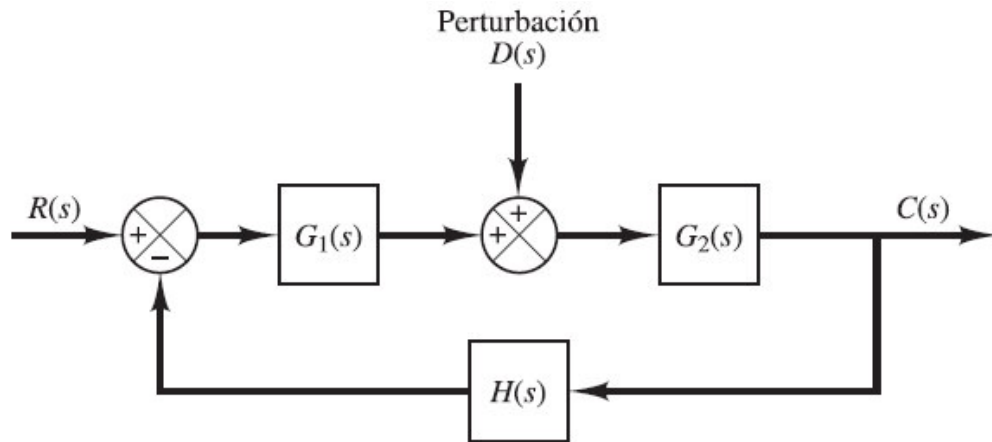


Figura 2. Sistema en lazo cerrado sujeto a perturbaciones.

Fuente: Ingeniería de Control Moderna, Pag 26.

3.1.6. Instrumentación Electrónica

La identificación de los códigos de la instrumentación de los diagramas de control mostrados en éste documento sobre una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales sigue estándares aceptados para la conformación de TAG's y cumple con la normativa ANSI/ISA-5.1-2009 "Instrumentation Symbols and Identification" tal como lo indica la *tabla 1*. [7]

⁶ OGATA Katsuhiko. Ingeniería de control moderna. Cuarta edición. Pearson Educación S.A. Madrid 2003. Pág 8.

⁷ ANSI/ISA-5.1-2009 "Instrumentation Symbols and Identification".





















No.	Shared display, Shared control (1)		C Computer Systems and Software (4)	D Discrete (5)	Location & accessibility (6)
	A	B			
	Primary Choice or Basic Process Control System (2)	Alternate Choice or Safety Instrumented System (3)			
1					<ul style="list-style-type: none"> • Located in field. • Not panel, cabinet, or console mounted. • Visible at field location. • Normally operator accessible.
2					<ul style="list-style-type: none"> • Located in or on front of central or main panel or console. • Visible on front of panel or on video display. • Normally operator accessible at panel front or console.
3					<ul style="list-style-type: none"> • Located in rear of central or main panel. • Located in cabinet behind panel. • Not visible on front of panel or on video display. • Not normally operator accessible at panel or console.
4					<ul style="list-style-type: none"> • Located in or on front of secondary or local panel or console. • Visible on front of panel or on video display. • Normally operator accessible at panel front or console.
5					<ul style="list-style-type: none"> • Located in rear of secondary or local panel. • Located in field cabinet. • Not visible on front of panel or on video display. • Not normally operator accessible at panel or console.

Tabla 1. Símbolos de Dispositivos y funciones de instrumentación.

Fuente: ANSI/ISA-5.1-2009 "Instrumentation Symbols and Identification"

Los instrumentos instalados en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales son electrónicos y de tecnología moderna, con base en microprocesadores y con las características constructivas y técnicas generales definidas en los siguientes puntos:

3.1.7. Características Constructivas

En la construcción de los instrumentos se han empleado materiales nuevos y de primera calidad, cumpliendo con las exigencias de las normas ISO (*International Standard Organization*) y ASTM (*Americans Society Testing and Materials*) y la norma IEC 60348: "*Safety Requirements for Electronic Measuring Apparatus*". [8]

Todos los instrumentos son de alta durabilidad, sin contener mercurio en su construcción, adecuados para operaciones continuas y resistentes a la humedad y a la contaminación, con compensación automática por variación de temperatura.

Todos los equipos tienen el grado de protección de acuerdo con la zona en la que están ubicados y la norma IEC-60529. [9] Los instrumentos, tarjetas electrónicas, módulos, materiales, aislamientos eléctricos, cables eléctricos y demás equipos y dispositivos que están sujetos a peligro de ataque por hongos u otros cultivos de parásitos o daños por efecto de la humedad excesiva están tropicalizados apropiadamente para la protección contra tales efectos o ataques. Los instrumentos para instalación directa sobre tubería son de construcción robusta, tropicalizados, con tapas y empaques a prueba de agua, aceite y polvo. De esta manera se garantiza que los equipos son aptos para su instalación y operación en las condiciones ambientales y de contaminación de su ubicación, haciendo especial hincapié en los instrumentos instalados en las áreas que se definen como clasificadas.

Toda la instrumentación dispone de medios para conservar su programación en caso de presentarse una interrupción de su alimentación; además, cumple con los límites de generación de perturbaciones establecidos en la publicación CISPR 11: "*Limits and methods of measurements of electromagnetic disturbance characteristics of industrial, scientific and medical (ISM) radiofrequency equipment*". [10]

La instrumentación electrónica está diseñada para quitar y reemplazar fácilmente las tarjetas electrónicas, sin interferir con la operación de los demás equipos, utilizando conectores de acuerdo con lo estipulado en la publicación IEC 603: "*Connectors for frequencies below 3 MHz for use with printed boards*". [11]

⁸ IEC 60348: "*Safety Requirements for Electronic Measuring Apparatus*".

⁹ IEC 603: "*Connectors for frequencies below 3 MHz for use with printed boards*".

¹⁰ CISPR 11: "*Limits and methods of measurements of electromagnetic disturbance characteristics of industrial, scientific and medical (ISM) radiofrequency equipment*"

¹¹ IEC-60529: "*The degree of protection of the enclosures for electrical equipment*".

Todos los instrumentos están siempre localizados en sitios de fácil de acceso y se suministran con placas de identificación para que la función del dispositivo particular pueda ser fácilmente determinada. La placa de identificación de cada instrumento es de acero inoxidable, grabada en forma permanente y conteniendo en ella la información de su identificación y servicio, el rango del instrumento, rango de calibración, nombre del fabricante, modelo y serie. Las letras son de un tamaño y diseño que permiten ser legibles desde ángulos y distancias razonables de observación.

3.1.8. Características Técnicas

Todos los instrumentos se alimentan a través de las mismas líneas de bus de campo, a excepción de los que requieren alimentación externa independiente a 24 Vcc desde el tablero del equipo o controlador al que están asociados o a 120 Vca tomados de UPS. La alimentación se dispone en borneras con su protección respectiva y de tal forma que se pueda distribuir en varios circuitos previamente identificados, seleccionados y calculados para la carga de instrumentos a manejar.

El sistema de protección del instrumento va integrado mediante limitador de corriente, protección ante sobretensión, protección frente a los cortocircuitos y protección de polaridad inversa. Se incluyen con mecanismo para su correcta instalación de puesta a tierra.

Los instrumentos trabajan bajo la filosofía de bus de campo, con la capacidad de tomar la señal según el tipo de sensor (en V, mV, A, mA, μ A...) y entregar una señal de tipo digital al bus de campo según los protocolos *Foundation Fieldbus* o *Profibus*. Son configurables a través del bus de campo, mediante el software del sistema de control. Esta conexión al bus de campo se realiza con cable y terminal del tipo *plug* and *play* (conexiones rápidas).

Algunos instrumentos incluyen salidas digitales adicionales que actúan como protección ejecutando disparos directos sobre los equipos del sistema específico. Estos instrumentos tienen capacidad de memoria y almacenamiento.

Los instrumentos tienen la capacidad de realizar autodiagnóstico del instrumento y del sensor, además de permitir, en caso de que sea necesario, el reemplazo de su parte activa sin necesidad de desmontarlo completamente del sistema.

Además de la capacidad de medición, los instrumentos tienen cuatro niveles de alarma (muy bajo, bajo, alto, muy alto), configurables y programables remotamente desde el sistema de control de la planta y localmente desde el *display* tipo LCD del instrumento, *display* desde el que se realizan las lecturas

locales. El *display* es de 4 dígitos, con iluminación incluida para facilitar su lectura y configurable por el usuario.

3.1.9. Buses de Campo

Con los instrumentos definidos a lo largo de la arquitectura del sistema de control de la Planta se conforman buses de campo normalizados, lo que permite, a su vez, integrarlos para realizar las labores de manejo y administración de la instrumentación mediante herramientas del tipo de *Assets Management*.

El bus de campo del sistema de instrumentación y medida constituye el nivel más próximo al proceso, dentro de la estructura de comunicación del sistema de control. Está basado en microprocesadores y utiliza un protocolo no propietario estándar, para gestionar el enlace entre los dispositivos que conforman la red de gestión y monitoreo de la instrumentación con el sistema de control de la planta.

El bus de campo conecta y lleva las señales de todos los dispositivos de control y medida al Sistema de Control Distribuido (DCS). Por medio de esta red se realizan las funciones de transporte de información al Sistema de Control Distribuido (DCS) de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, por lo que recoge la información de cada instrumento distribuido y la lleva para su procesamiento al Controlador de Proceso (COP) del área correspondiente al cual está conectado a través de una red superior a las estaciones de operación del sistema.

El protocolo Profibus suministrado garantiza la compatibilidad para la transmisión de los datos a través de la red con los instrumentos de tecnología moderna y con los Controladores de Proceso (COP).

4. METODOLOGÍA

4.1. INVESTIGACIÓN

Para la ejecución del proyecto, se pretende realizar una investigación de tipo descriptiva y documental de diferentes fuentes de información con el propósito de obtener y presentar, con el máximo rigor o exactitud posible, la información sobre las herramientas y dispositivos que se utilizarán, así como de los procedimientos y técnicas más apropiados para alcanzar los objetivos propuestos.

4.2. PROCEDIMIENTO

En la *figura 3* se muestra el procedimiento que se desea seguir para la descripción del sistema de control de los tanques desarenadores de una planta de tratamiento de aguas residuales y está basado en la implementación realizada a otras plantas de tratamiento de aguas residuales.

El proceso de desarrollo involucra etapas comúnmente utilizadas en los sistemas de control de plantas industriales y de tratamiento de aguas residuales, como lo son la identificación y el conocimiento de la planta, la identificación de los equipos de instrumentación asociados al proceso y el conocimiento de la arquitectura de control y los buses de campo.

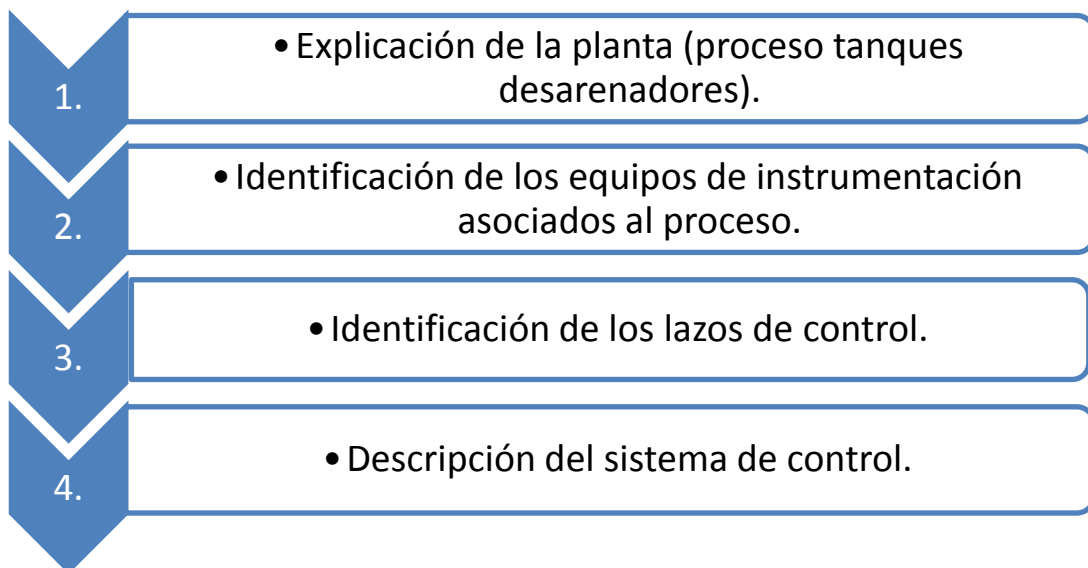


Figura 3. Procedimiento para la descripción del sistema de control

Fuente: el autor

4.2.1. Descripción del funcionamiento de los tanques desarenadores.

Antes de realizar la descripción del sistema de control, se debe detallar el funcionamiento de la parte de la planta que se va a controlar; es decir, conocer en detalle el proceso que se lleva a cabo en los tanques desarenadores. De esta manera se genera un enfoque desde el punto de vista de proceso para proceder con los equipos de instrumentación que van a ser utilizados para tal fin.

Los tanques desarenadores son cámaras (generalmente construidas en concreto), diseñadas para permitir la separación gravitacional de sólidos minerales. Ellos se encargan de separar las arenas y las grasas que van inmersas en las aguas residuales [12].

Los tanques desarenadores están diseñados para la retirada de las arenas y grasas que transportan las aguas residuales en el tratamiento preliminar de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Bello, entre la estructura de rejas del edificio de tratamiento preliminar y la estación de bombeo de entrada. Las arenas extraídas son bombeadas hacia los lavadores-clasificadores para su posterior transporte en contenedores fuera de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Bello, para su uso como relleno sanitario; las grasas extraídas, en cambio, son bombeadas hacia los tanques digestores o, si el proceso de la planta lo requiere, hacia la cámara de grasas del edificio de tratamiento preliminar, para su posterior paso al canal común de entrada a los canales de la estructura de rejas, reiniciando, de este modo, su proceso preliminar. La estación de sopladores acelera el proceso natural de la separación de agua residual y materia mediante la inyección de aire. Las arenas y las grasas extraídas se acumulan en fosos para su posterior tratado o transporte en contenedores fuera de la planta.

Los tanques desarenadores de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales se encargan, mediante puentes móviles dobles rascadores de arenas PMTD, de la retirada de las arenas de las aguas residuales depositadas en el fondo de los tanques desarenadores. Asimismo, mediante el movimiento longitudinal, el puente móvil doble rascador de arenas PMTD arrastra las grasas de la superficie de los tanques desarenadores hasta los pozos de recolección de grasas del edificio de tratamiento preliminar de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. Las compuertas de paso de grasas hacia dichos pozos ubicadas en la salida de los tanques desarenadores realizan su apertura cuando el puente móvil doble rascador de arenas PMTD se encuentra cercano a la compuerta, activando dicha acción mediante un suiche de detección de proximidad.

¹² LIZARAZO Jenny, ORJUELA Martha. Sistema de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en Colombia. Universidad Nacional seccional Medellín. Colombia. 2013. Pág 21.

Tras este proceso de extracción de arenas y grasas, las aguas residuales de los tanques desarenadores dobles, se desplazan hasta el canal común de comunicación de desarenadores con la estación de bombeo de entrada, para la posterior elevación de las aguas residuales hacia el tratamiento primario. Para la aceleración del proceso de separación por densidad de las arenas y las grasas en los tanques desarenadores, se precisa la instalación de la estación de sopladores. Dichos sopladores SPD realizan, mediante inyección de aire, el movimiento en espiral de las aguas residuales llegadas a los tanques desarenadores, promoviendo por medio de este movimiento en espiral a velocidades bajas la remoción del material orgánico y la aceleración del proceso natural.

La extracción de arenas se realiza mediante bombas sumergibles BPMD que bombean las arenas directamente desde el fondo de los desarenadores hacia el canal de extracción de arenas, para su posterior paso a los fosos de arenas o pozos húmedos de recolección de arenas de la estructura de desarenadores en el tratamiento preliminar del agua residual.

El funcionamiento automático del raspado y extracción de arenas de los puentes móviles dobles de los tanques desarenadores se realiza tanto individualmente como en conjunto. El número de tanques desarenadores activos dependerá del número de canales de rejillas activos teniendo en cuenta que siempre y en todo momento se deberá tener al menos un tanque desarenador activo. La operación de activar y desactivar un tanque desarenador se llevará a cabo de forma manual por el operador desde el sistema de control DCS.

Las bombas de arenas BAR de la estructura de desarenadores del edificio de tratamiento preliminar realizan la impulsión de las arenas extraídas de los tanques desarenadores hacia el sistema de lavado y clasificación de arenas para su posterior retirada de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales mediante contenedores. La recogida de arenas se realiza por medio de los puentes móviles dobles rascadores de arenas instalados en los tanques desarenadores, y son conducidas mediante canales de extracción de arenas hacia los fosos de arenas, para su posterior bombeo.

Se emplea tecnología de ultrasonido en los sensores de nivel de los tanques desarenadores, fosos de arenas y medidores de contenedores, tecnología conductiva para los interruptores de nivel de los fosos de grasas, flotadores para los interruptores de nivel de los fosos de drenajes, tecnología magnética en los sensores de flujo, tecnología cerámica capacitiva o diafragma piezoresistivo en los sensores de presión, tecnología bourdon en los indicadores locales de presión, tecnología cerámica capacitiva o diafragma piezoresistivo en los interruptores de presión, sensores cilíndricos remotos en los interruptores de temperatura de las descargas de aire de los sopladores, sensores electroquímicos para los

registradores-indicadores de pH, ácido sulfhídrico y monóxido de carbono, sensores infrarrojos para los registradores-indicadores de metano y dióxido de carbono, sondas RTD para los sensores de temperatura de los estatores de las bombas de grasas, sensores de temperatura del tipo PTC para los devanados de las bombas de arenas, grasas y clasificadores-lavadores, sensores de temperatura del tipo termistor para los devanados de las bombas sumergibles, sondas del tipo PT-100 para los sensores de temperatura de los devanados de los sopladores y detectores de proximidad inductivos para los sensores de proximidad de los contenedores y la medición de las revoluciones de las bombas de arenas y sopladores, barreras ópticas de seguridad con tecnología láser en los carros de contenedores y células de carga de compresión para los sensores de peso de los contenedores.

La *figura 4* muestra los tanques desarenadores de una planta de tratamiento de aguas residuales (planta a controlar).



Figura 4. Tanques Desarenadores

Fuente: el autor

4.2.2. Equipos de Instrumentación

Una vez conocido en detalle el proceso que se realiza en los tanques desarenadores con el tratamiento del agua residual, se procede a la explicación de los equipos de instrumentación utilizados en dicha zona de la planta. Mediante el conocimiento de la instrumentación asociada, se identifican las variables a medir y así mismo los buses de campo utilizados para cada uno de ellos.

4.2.3. Transmisor Indicador de Nivel VEGAPULS 62 (LIT-0401)



Figura 5. Transmisor Indicador de Nivel Profibus PA VEGAPULS 62

Fuente: Internet: <https://www.vega.com/es-ES/Zona-de-descarga>

4.2.3.1. Principio de Medición

El sistema de antena emite pulsos de microondas extremadamente breves hacia el producto por medir, que son reflejados por la superficie y son recibidos entonces de nuevo por el sistema de antena. El tiempo transcurrido entre la emisión y la recepción de las señales depende del nivel en el interior del contenedor. Un procedimiento especial de prolongación del tiempo permite la medición exacta y segura de los tiempos extremadamente breves, así como la conversión de los mismos en la medida del nivel [13].

Los sensores de radar operan con una potencia de emisión reducida en el rango de frecuencia de banda C y K. Los sensores de banda C de baja frecuencia se

¹³ <https://www.vega.com/es-ES/Zona-de-descarga>

emplean para la medición continua del nivel de líquidos bajo difíciles condiciones de proceso. Son apropiados para aplicaciones en tanques de almacenamiento, depósitos de proceso o en tuberías verticales y pueden emplearse universalmente gracias a las diferentes versiones de antena. Los sensores de banda K de alta frecuencia pueden emplearse para la medición continua del nivel de líquidos. Son apropiados para aplicaciones en depósitos de almacenamiento, rectores y depósitos de proceso, también con difíciles condiciones de proceso [14].

4.2.3.2. Aplicación del Transmisor Indicador de Nivel Vegapuls 62

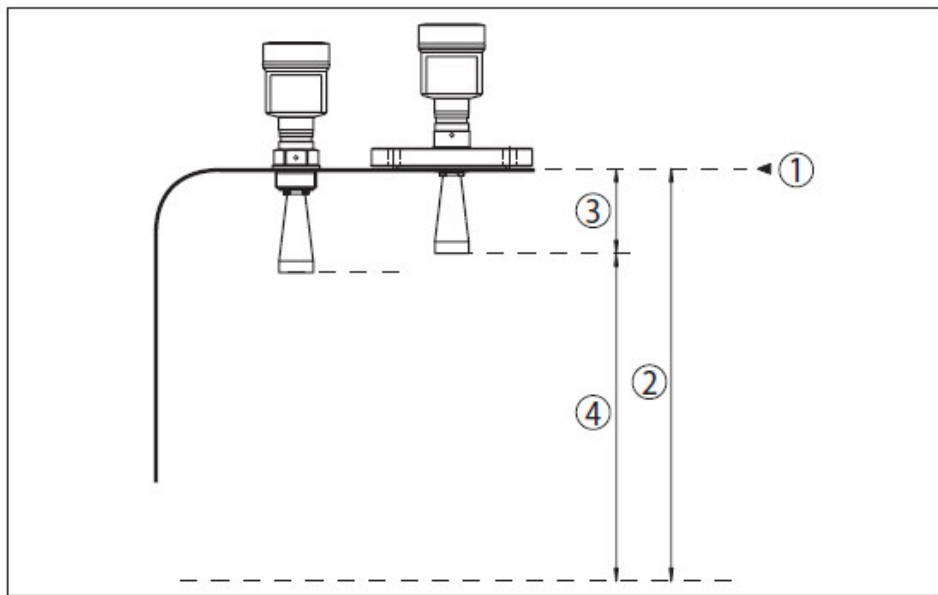


Figura 6. Datos de la variable de entrada para VEGAPULS 62

Fuente: Internet: <https://www.vega.com/es-ES/Zona-de-descarga>

1. Plano de referencia.
2. Magnitud de medida, rango de medida máximo.
3. Longitud de la antena.
4. Rango de medida útil.

La magnitud de medida es la distancia entre la conexión a proceso del sensor y la superficie del producto. El plano de referencia es en dependencia de la versión del sensor la superficie de obturación en hexágono o la parte inferior de la brida.

¹⁴ <https://www.vega.com/es-ES/Zona-de-descarga>

4.2.3.3. Datos Técnicos

VEGAPULS 62	
Aplicaciones	Tanques de almacenamiento y depósitos de proceso en condiciones de proceso difíciles.
Rango de medición máximo	35 metros (114,8 ft)
Antena/Material	Antena de trompeta o antena de tubo vertical 1/2", 316L
Conexión a proceso/Material	Rosca G1 1/2 / 316L según DIN 3852-A o brida/316L, alloy C22 (2,4602).
Temperatura de proceso	Desde -196 hasta 450°C
Presión de proceso	desde -1 hasta 160 Bar
Error de Medición	Más o menos 2 mm
Rango de frecuencia	Banda K
Protocolo de Comunicaciones	Profibus PA

Tabla 2. Datos técnicos del transmisor indicador de nivel VEGAPULS 62

4.2.3.4. Ventajas de la tecnología de radar

La tecnología de radar sin contacto destaca por una precisión de medición particularmente elevada. La medición no resulta afectada ni por la variación de las propiedades del producto ni por la variación de las condiciones del proceso, como temperatura y presión.

4.2.4. Sensor de PH Sensolyt 700IQ marca WTW (QE-0402)

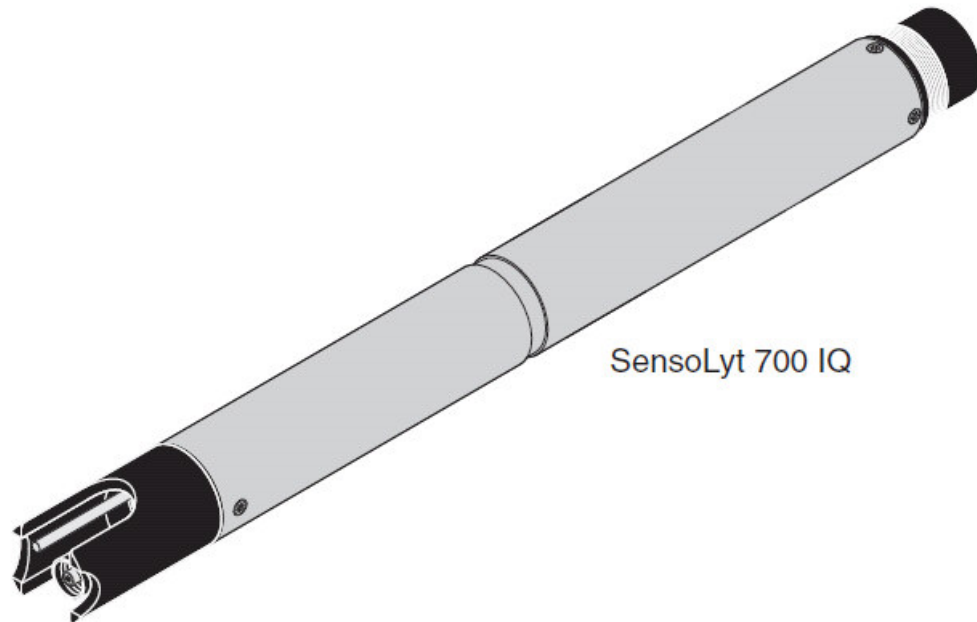


Figura 7. Sensor de PH Sensolyt 700IQ

Fuente: Internet: <https://www.yei.com/sensolyt>

4.2.4.1. Principio de Medición

Para efectuar mediciones continuas de pH, sobre todo bajo condiciones difíciles, como las existentes en el tratamiento de aguas residuales, se exige una máxima confiabilidad y seguridad operativa en los sistemas de medición. Las sondas de medición Sensolyt han sido concebidas como un sistema coordinado, consistente en una armadura y su correspondiente electrodo de combinación pH/Redox [15].

¹⁵ <https://www.yei.com/sensolyt>

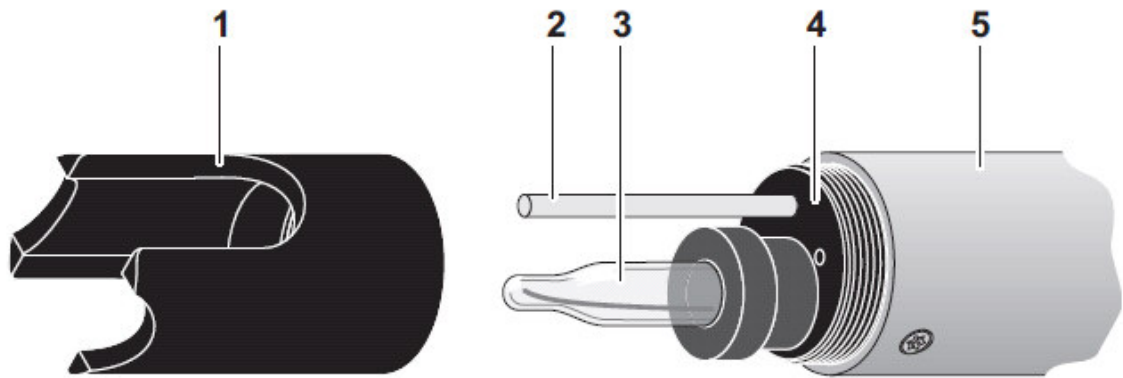


Figura 8. Estructura del sensor de PH/ORP Sensolyt 700IQ

Fuente: Internet: <https://www.ysi.com/sensolyt>

En la figura 8 se observan las partes del sensor de PH/ORP Sensolyt 700IQ donde:

1. Capucha protectora.
2. Sensor de Temperatura.
3. Electrodo de combinación.
4. Porta electrodos.
5. Eje del sensor.

La confiabilidad de la medición de pH depende en gran medida de la calidad del electrodo de pH/Redox utilizado que, por lo general, es sometido a condiciones severas permanentes. Un factor decisivo para el buen funcionamiento del electrodo es el sistema de referencia utilizado.

El electrodo de referencia de los SensoLyt es un electrodo clásico de Ag/AgCl/Cl integrado completamente en un electrolito de polímero sólido resistente a la presión. En este electrolito de consistencia gelatinosa las variaciones de concentración ocurren muy lentamente y las propiedades electroquímicas de las fases que determinan el potencial permanecen constantes por largo tiempo. En este tipo de electrodo la interfaz "matriz de polímero/medio" es un diafragma perforado; esto quiere decir que el enlace se establece mediante dos pequeños orificios en la pared del sistema de referencia. Un diafragma de este tipo reduce al máximo el riesgo de fallas. Los electrodos de combinación Sensolyt requieren

además de muy poco mantenimiento, ya que no se precisa cambiar el electrolito (ver imagen 9) [16].

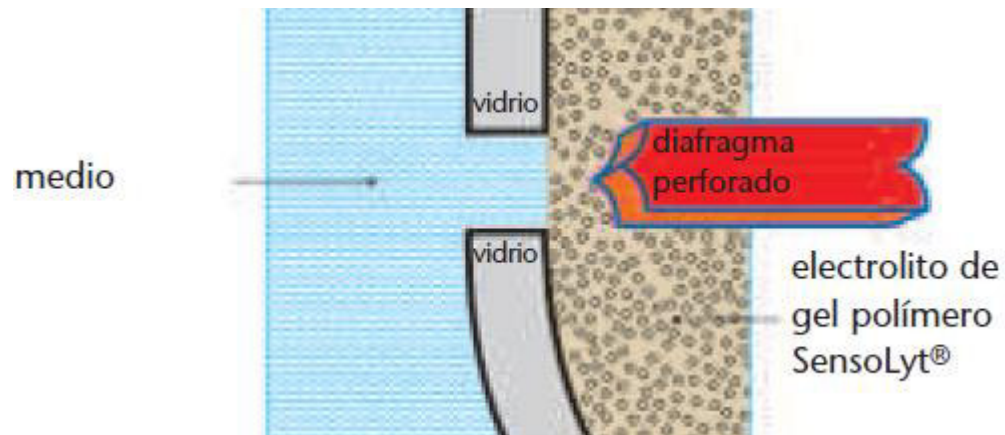


Figura 9. Estructura interna del sensor de PH Sensolyt 700IQ

Fuente: <https://www.y.si.com/sensolyt>

4.2.4.2. Aplicación y ensambles del Sensolyt 700IQ

Los ensambles sumergibles Sensolyt cumplen múltiples funciones:

- Pre amplificación de la señal del electrodo.
- Recipiente para un sensor integrado NTC para la medición de temperatura.
- Protección mecánica del electrodo de pH.
- Procesamiento digital de las señales con memoria para los valores de calibración (Sondas IQ).

La baja señal de tensión emitida por el electrodo de pH es muy sensible a las interferencias y, por lo tanto, no debería ser transmitida a largas distancias sin haber sido amplificada previamente. Por esta razón WTW ha incorporado un preamplificador en el ensamble que por transformación de impedancia permite transmitir de manera segura señales de baja impedancia, incluso a largas distancias. El preamplificador tiene, además, un aislamiento galvánico que lo protege contra interferencias por potenciales ajenos. Todas las armaduras Sensolyt incorporan una sonda NTC (coeficiente negativo de temperatura) para la compensación automática de temperatura y la medición de temperatura, que

¹⁶ <https://www.y.si.com/sensolyt>

permite registrar simultáneamente en un solo instrumento los parámetros de pH, redox y temperatura (ver *imagen 10*)

Las armaduras Sensolyt ofrecen al electrodo, por ser un elemento sensible y casi siempre de vidrio, la protección mecánica necesaria en condiciones de trabajo severas como las que se observan en las plantas de tratamiento de aguas residuales. Además, el electrodo armado puede ser intercambiado fácilmente sin necesidad de herramientas a la hora de efectuar el servicio.

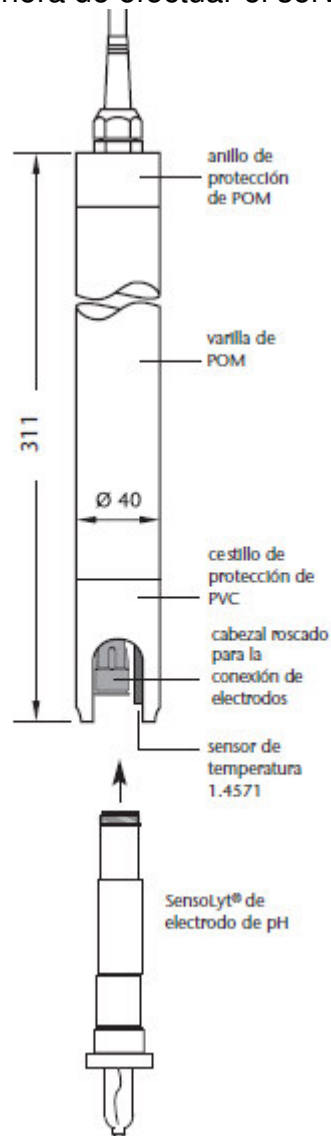


Figura 10. Armadura Sensolyt con cadena de medición.

Fuente: Internet: <https://www.yisi.com/sensolyt>

Mediante una función especial se puede vigilar y detectar cualquier rotura del vidrio. Con la memoria integrada de valores de calibración se puede generar una “medición de pH precalibrada” cuyo valor se registra en la sonda. Mediante el cierre rápido en la sonda, esta puede retirarse fácilmente del lugar de empleo y reintegrarse posteriormente luego de realizar una calibración en laboratorio. De este modo, ya no será necesario en absoluto efectuar calibraciones en el campo bajo condiciones difíciles, si existe una conexión IQ en el laboratorio.

4.2.4.3. Datos Técnicos ensambles SensoLyt

Ensamblados SensoLyt 700IQ	
Preamplificador Integrado	Sí
Salida de Señal	Digital
Función Sens-Check	Sí
Memoria en la sonda para guardar datos de calibración	Sí
Consumo de Energía	0,2 watio
Medición de Temperatura	NTC integrado, -5°C,,, +60 °C
Condiciones Ambientales	Temperatura de funcionamiento: 0°C... +60°C
Conexión Eléctrica	Cable blindado de 2 conductores con cierre rápido en la sonda
Protección integrada contra rayos	Sí
Compatibilidad electromagnética	EN 61326 Clase B, FCC Clase A Alta inmunidad a interferencias (para equipos de uso indispensable)
Certificaciones	CE, cETLus
Componentes Mecánicos	Carcasa: acero fino v4A 1,4571 Cestillo de protección: PVC Asiento de la cadena de medición: POM Calse de protección: IP 68
Dimensiones (Largo por Diámetro)	508 * 40 mm
Peso (sin cable)	Aprox. 970 g

Tabla 3. Datos técnicos del sensor de PH (QE-0402) SensoLyt 700IQ

4.2.5. Transmisor Indicador de PH Stratos Pro A2 (QIR-0402)



Figura 11. Transmisor Indicador de pH Stratos Pro

Fuente: Internet: <https://www.knick-international.com/export/media/3875.pdf>

El transmisor indicador de pH Stratos Pro A2 de la figura 11 “QIR-0402 en la figura 1” es usado para la medición de pH/mV, ORP y temperatura en la industria del tratamiento de aguas residuales; dicho transmisor recibe la señal del sensor, la indica localmente y la transmite al controlador de proceso para ejercer una acción de control y llevar un registro de la variable medida.

Para la conexión de sensores y prensaestopas el gabinete proporciona tres facilidades para instalar los prensaestopas y M20*1.5; 2 orificios con rosca NPT de 1/2” o conducto metálico rígido.

La implementación de una pantalla LCD retroiluminada permite una lectura fácil y clara de las variables de medida (pH y temperatura) y una operación intuitiva. El transmisor permite la configuración de qué valores se van a mostrar y posee diferentes modos para la muestra de las variables [17].

¹⁷ <https://www.yssi.com/sensolyt> [Citado en 2017]

4.2.5.1. Modo de medición

Una vez que se ha conectado la tensión de funcionamiento, el analizador pasa automáticamente al modo "Medición". Para llamar al modo de medición desde otro modo de operación (por ejemplo, Diagnóstico, Servicio): mantenga presionada la tecla meas (> 2 s).

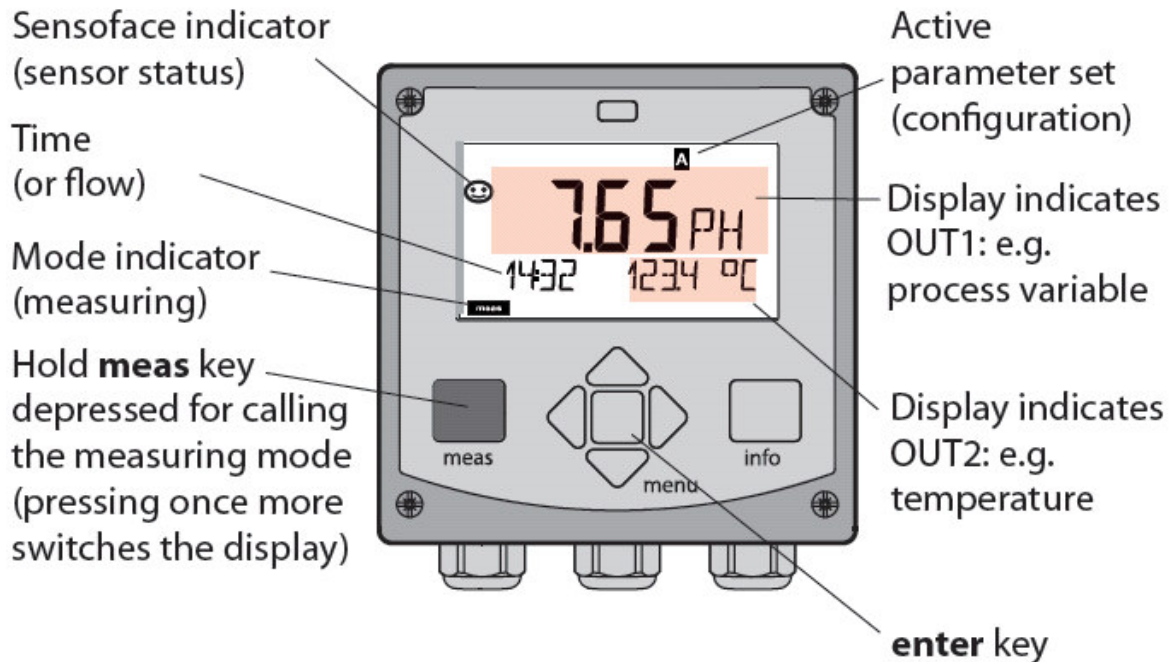


Figura 12. Pantalla principal del transmisor – pantalla de medición

Fuente: Internet: <https://www.knick-international.com/export/media/3875.pdf>

Dependiendo de la configuración, una de las siguientes pantallas se puede configurar como pantalla estándar para el modo de medición:

- Valor medido, tiempo y temperatura (configuración predeterminada).
- Valor medido y selección del conjunto de parámetros A / B o flujo Valor medido y número de etiqueta ("TAG").
- Hora y fecha Nota: Al presionar la tecla meas en el modo de medición, puede ver las pantallas durante aproximadamente 60 segundos.

En general el sensor Sensolyt 700IQ es conectado al Stratos Pro A2 para la visualización de las variables de medición y la transmisión de las mismas al Controlador de Proceso.

4.2.6. Sensor de Conductividad TetraCon 700IQ marca WTW (QE-0403)



Figura 13. Sensor de Conductividad TetraCon 700IQ

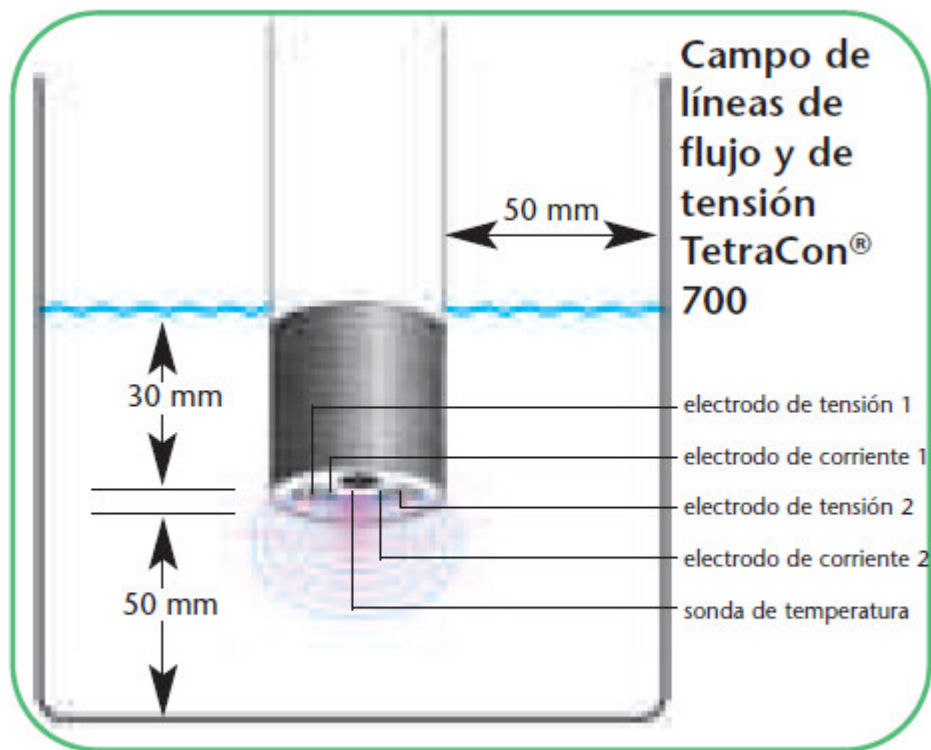
Fuente: Internet: <https://www.wtw.com/es/home.html>

En la *figura 13* se *observa una* robusta celda conductimétrica de 4 electrodos, termistor doble, electrodos de carbón resistentes a la abrasión, cuerpo irrompible de resina epoxi, intervalo de medición de 10 $\mu\text{s/cm}$ a 1000 ms/cm . Concebida como sonda de inmersión especialmente para la utilización en plantas de tratamiento de aguas residuales.

4.2.6.1. Principio de Medición

En principio, la conductividad de una solución se determina midiendo su resistencia electroquímica. El tipo más sencillo de celda conductimétrica utilizada consta de dos electrodos del mismo tipo, a los que se les aplica una tensión alterna. El valor de conductividad de la solución se calcula entonces con el instrumento de medición en base a la corriente originada por los iones del electrolito y tomando en cuenta las constantes de celda.

El TetraCon 700IQ de 4 electrodos utiliza 2 electrodos de corriente y 2 de tensión, actuando estos últimos casi como sondas de potencial sin corriente. La posible caída de voltaje en los electrodos es controlada mediante un circuito potencioestático.



distancia mínima: 50 mm

profundidad de inmersión mínima: 30 mm

Figura 14. Campo de líneas de flujo y de tensión Tetra Con 700IQ

Fuente: Internet: <https://www.wtw.com/es/home.html>

La ventaja más importante de este principio de medición es que los efectos de polarización típicos de altas conductividades no afectan el resultado de la medición. También la resistencia de contacto originada en los electrodos por la suciedad es compensada casi en su totalidad.

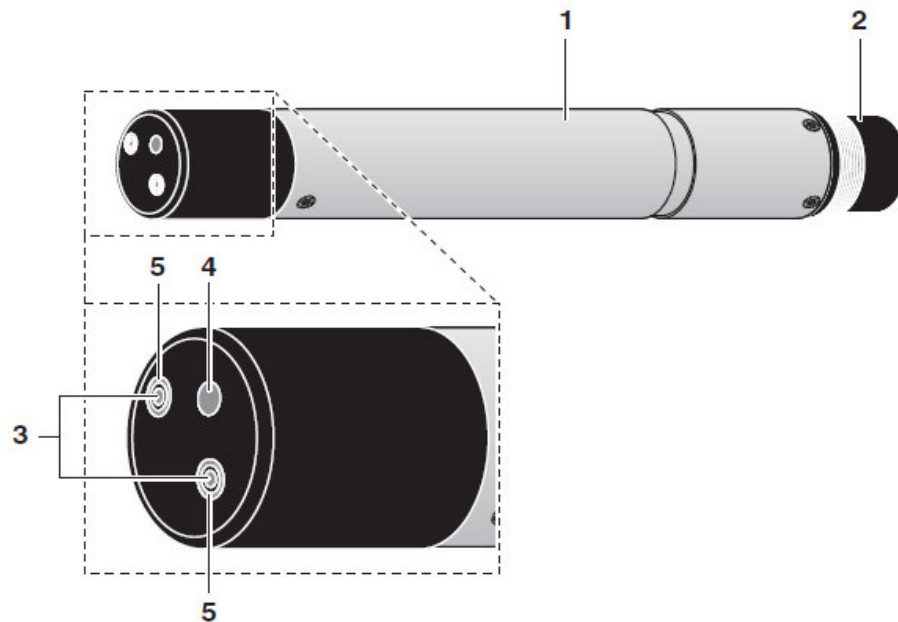


Figura 15. Estructura del sensor de conductividad TetraCon 700IQ

Fuente: Internet: <https://www.wtw.com/es/home.html>

En la figura 15 se observan las partes del sensor de conductividad TetraCon 700IQ donde:

1. Eje.
2. Cabeza de conexión.
3. Electrodos de Voltaje.
4. Sensor de Temperatura.
5. Electrodos de corriente.

El principio del método de medición permite evitar las influencias de los efectos de polarización primarios o secundarios. Esto asegura un alto grado de precisión de medición. Una moderna técnica de sellado epoxi reduce las posibilidades de rotura del sensor en el entorno industrial rudo [18].

¹⁸ <https://www.ysi.com/File%20Library/Documents/Manuals/ba76018-TetraCon-700-IQ-e01.pdf> [Citado en 2017]

4.2.6.2. Datos Técnicos del sensor de conductividad TetraCon700IQ

TetraCon 700IQ	
Principio de Medición	Celda de medición de 4 electrodos
Intervalo de medición	10 uS/cm - 500 mS/cm. SAL: 0 ... 70 TDS: 0 ... 2000 mg/l
Constante de celda	K= 0,917 cm ⁽⁻¹⁾ , con armadura de paso EBST 700-DU/N
Salida de señal	Digital
Consumo de energía	0,2 vatio
Sonda de temperatura	NTC integrado
Medición de Temperatura	Desde -5°C + 60 °C
Presión máxima	10 bar
Conexión eléctrica	Cable blindado de 2 conductores con cierre rápido en la sonda
Marcas de verificación	CE, cETLus
Componentes Mecánicos	Cabezal sensor: PVC. Carcasa: acero fino V4A 1,4571. Clase de protección: IP 68
Dimensiones (Longitud x diámetro)	357 x 40 mm, incluye rosca de conexión del cable de conexión del sensor SACIQ
Peso (sin cable)	660 g

Tabla 4. Datos técnicos del sensor de PH (QE-0402) SensoLyt 700IQ

La celda conductimétrica TetraCon 700 ha sido especialmente concebida para la utilización en plantas de tratamiento de aguas residuales fuertemente contaminadas. Gracias a su principio técnico de medición se evitan influencias causadas por efectos de polarización primarios o secundarios, garantizando así una gran precisión en la medición. Instalándola según las instrucciones se evitan errores de medición ocasionados por la corriente y el voltaje en el campo.

4.2.7. Transmisor Indicador de Flujo Promag 53 Endress+Hauser (FIT-0404)

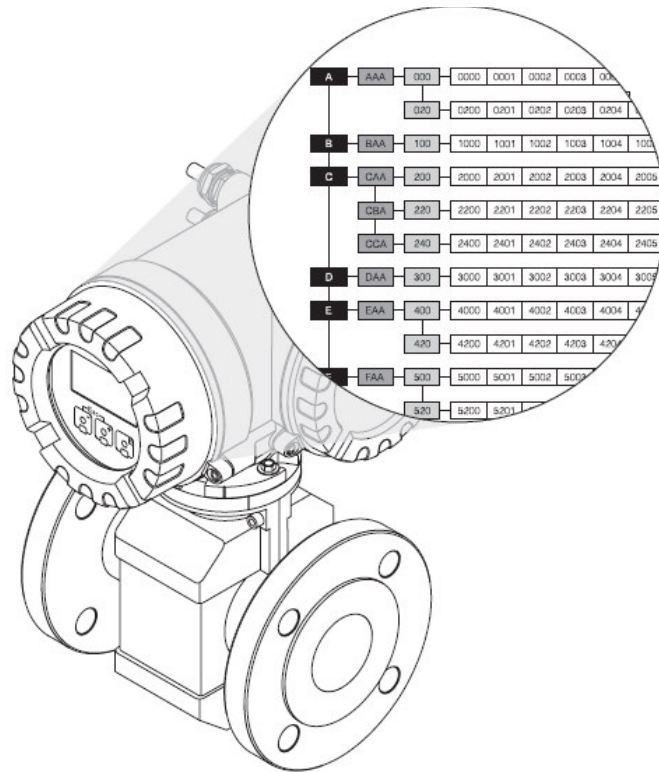


Figura 16. Transmisor Indicador de Flujo Endress+Hauser Promag 53

Fuente:

https://portal.endress.com/wa001/dla/5000319/0455/000/04/TI047DEN_1109.pdf

4.2.7.1. Principio de Medición

Siguiendo la ley de Faraday de inducción magnética, se induce un voltaje en un conductor que se mueve a través de un campo magnético. En el principio de medición electromagnética, el fluido es el conductor en movimiento. La tensión inducida es proporcional a la velocidad de flujo y se suministra al amplificador por medio de dos electrodos de medición. El volumen de flujo se calcula por medio del área de la sección transversal de la tubería. El campo magnético DC se crea a través de una corriente continua conmutada de polaridad alterna [19].

¹⁹ https://portal.endress.com/wa001/dla/5000319/0455/000/04/TI047DEN_1109.pdf
[Citado en 2017]

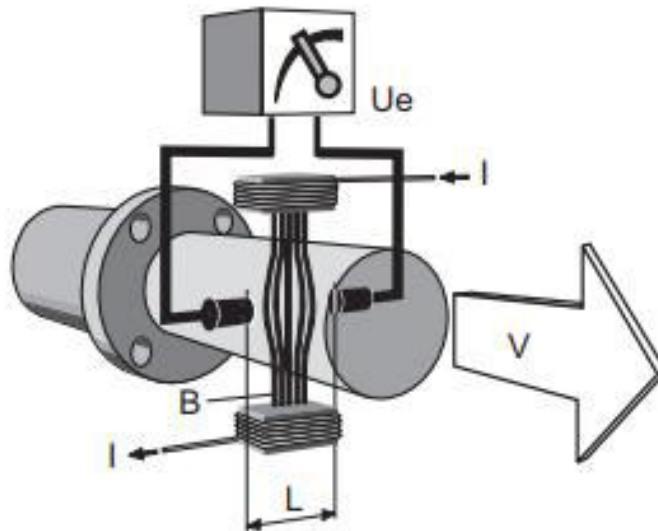


Figura 17. Principio de medición electromagnética de flujo.

Fuente:

https://portal.endress.com/wa001/dla/5000319/0455/000/04/TI047DEN_1109.pdf

De acuerdo a la figura 17:

$$U_e = B \cdot L \cdot v$$

$$Q = A \cdot v$$

Dónde:

U_e = Voltaje Inducido.

B = Inducción magnética (campo magnético).

L = Distancia de los electrodos.

v = Velocidad de flujo.

Q = Volume flow.

A = Sección transversal del tubo.

I = Intensidad de corriente.

4.2.7.2. Aplicación del Transmisor Indicador de flujo Promag 53

La formación de burbujas de gas o bolsas de aire en el tubo de medición puede incrementar los errores de medición. Se debe evitar montar el sensor en los puntos más altos de la tubería ya que puede existir riesgo de acumulaciones de aire y también en corriente arriba junto a una salida libre de una tubería vertical.

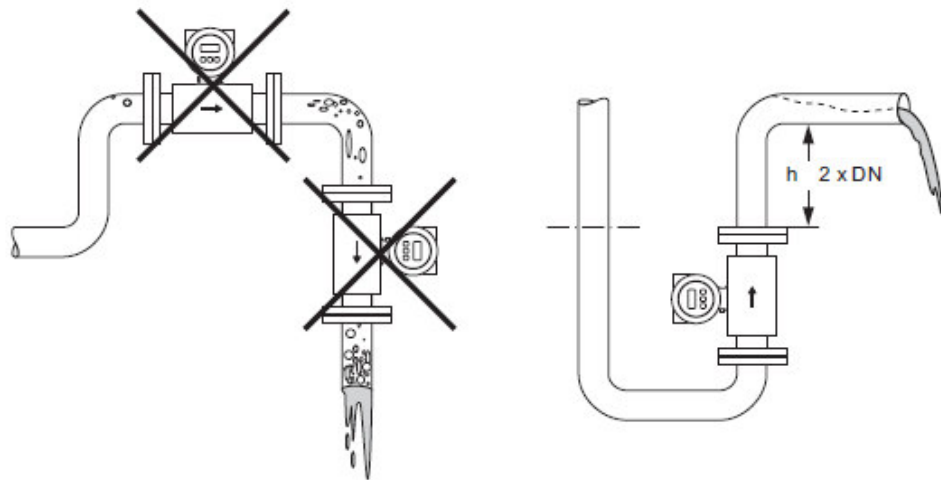


Figura 18. Errores de montaje para el sensor de flujo Promag 53.

Siempre que sea posible, se debe instalar el sensor lejos de accesorios como válvulas, piezas en T, codos, etc. Se debe tener en cuenta que los tramos de entrada y salida deben satisfacer los siguientes requisitos para poder asegurar la precisión en la medida.

Tramo de entrada: $\geq 5 \times \text{DN}$

Tramo de salida: $\geq 2 \times \text{DN}$

DN = diámetro nominal de la tubería

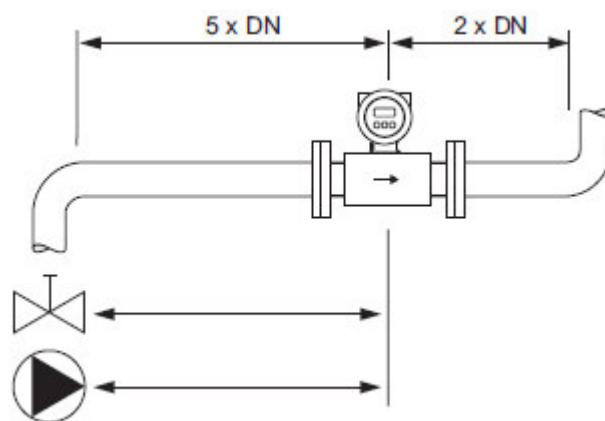


Figura 19. Instalación correcta del transmisor de flujo Promag 53.

4.2.8. Identificación de los lazos de control

Luego de conocer la instrumentación que se utiliza para el proceso de los tanques desarenadores, se procede a identificar los lazos de control de la arquitectura del sistema de control. Cada lazo de control será dirigido directamente por el DCS (*Distributed Control System*), Sistema de Control Distribuido por sus siglas en inglés.

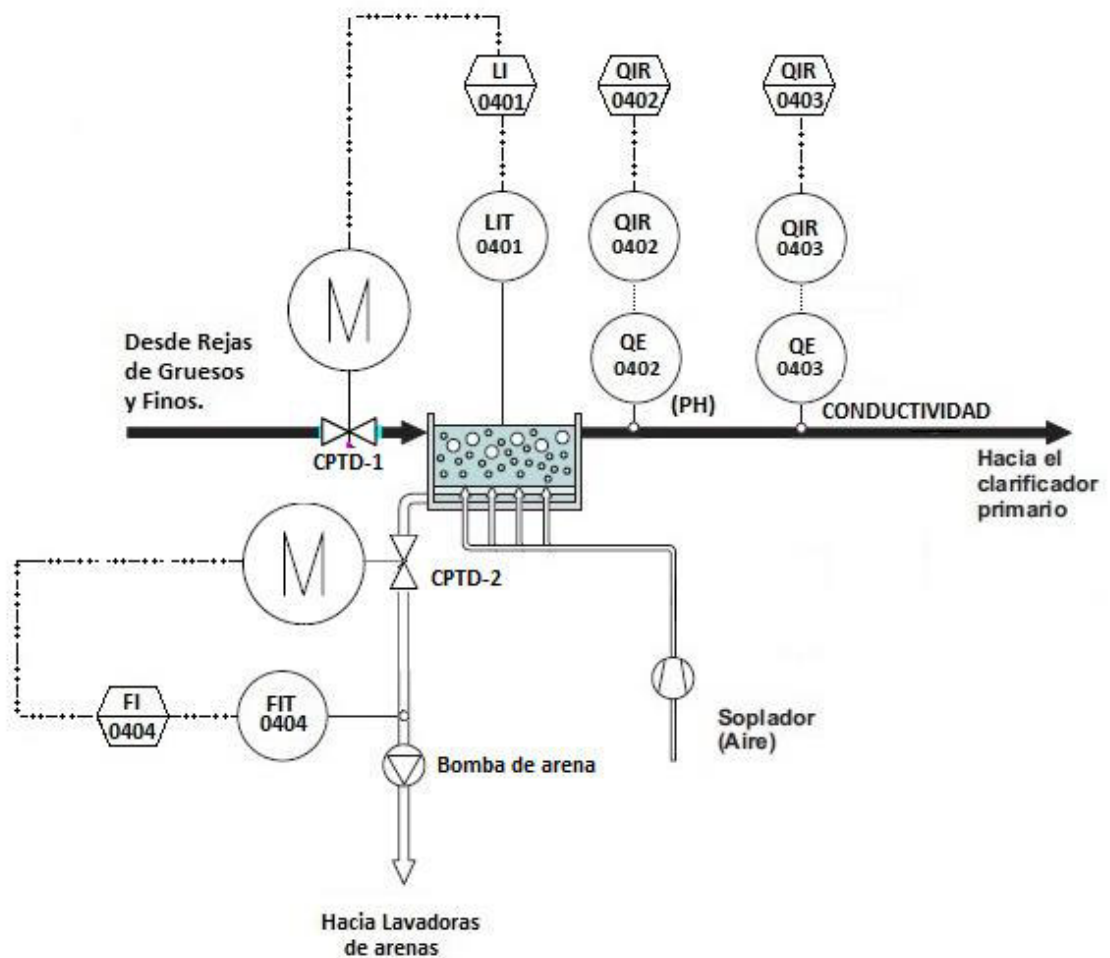


Figura 20. Lazos de Control

Fuente: el autor

En la *figura 20* se proponen dos lazos de control correspondientes al transmisor indicador de nivel LIT-0401 y al transmisor indicador de flujo FIT-0404. Dichos

lazos de control son los encargados de controlar el nivel del tanque (antes de que reboce) y el FIT es el encargado de vaciar las arenas del tanque y enviarlas hacia las clasificadoras/lavadoras de arenas. Una vez que el LIT-0401 detecta alto nivel en el tanque desarenador el Controlador de proceso da la orden al Centro de Control de Motores (CCM) de cerrar la compuerta CPTD-1 a través de una válvula motorizada AUMA, una vez se realiza éste procedimiento la bomba de arena se enciende con el objetivo de realizar un control de flujo mediante el FIT-0404 enviando de manera controlada las arenas, mediante la apertura y cierre de la CPTD-2, hacia otra sección de la planta, denominada lavadoras/clasificadoras de arenas.

El QE/QIR-0402 y el QE/QIR-0403 se encargan de tomar registros de pH y conductividad con el objetivo de conocer el nivel de acidez y, como su nombre lo indica, el nivel de conductividad del agua residual que ingresa a la planta, después de que se le realiza el tratamiento preliminar al pasar por rejas que es la encargada de separar los sólidos gruesos y finos (proceso que no es del alcance de ésta monografía) y los tanques desarenadores encargados de retirar las arenas y grasas de la misma.

4.2.9. Sistema de control Distribuido (DCS)

El Sistema de Control Distribuido (DCS) y las funciones asociadas al mismo son los responsables del control, monitoreo y gestión de los datos del sistema tecnológico completo. Está compuesto de equipos para el monitoreo, el control remoto-manual y remoto-automático y de los equipos de comunicación para interconexión al interior y al exterior de la planta.

El sistema está definido con un alto grado de confiabilidad, disponibilidad y escalabilidad, permitiendo realizar el control predictivo, evitando la extensión de las fallas de los equipos, mediante una rápida localización de las fallas y menores tiempos de atención y reparación de las mismas.

La configuración es del tipo distribuido, tanto física como funcionalmente, que permite un crecimiento gradual de éste, tanto a nivel del hardware como del software, además de una alta disponibilidad, confiabilidad y seguridad gracias a la distribución de funciones y a los programas de auto chequeo y autodiagnóstico.

Todos los Controladores de Proceso (COP) del sistema de control y supervisión son individualmente accesibles por cualquier equipo conectado a las redes LAN. La falla de algún procesador no impide el correcto funcionamiento de ninguna de las rutas de datos o dispositivos conectados a otros procesadores.

Todos los componentes del sistema están interconectados usando estándares para redes de área local (LAN).

Los equipos pueden trabajar con *WEB Server* y cuentan con el protocolo DNS (*Domain Name Server*) para acceso remoto del sistema.

El diseño del software permite la operación de funciones distribuidas entre los diferentes COP's o estaciones de la LAN, tales como el manejo de las comunicaciones en la LAN, el manejo de bases de datos, comunicación entre procesos, comunicación con otras redes, etc. Cualquier elemento o componente del sistema de control, tales como servidores, estaciones de trabajo, COP's y demás equipos, son reemplazables, expandibles y actualizables por simple cambio o "plug-in" sin afectar el resto del sistema de control y supervisión, y sin requerir ninguna modificación de software.

El sistema cuenta con plataformas de hardware y software abiertas y redes de comunicación que obedecen a estándares internacionales, garantizando un sistema altamente modificable, expandible y que puede ser continuamente actualizable en el tiempo.

Para la marcación en tiempo real de los eventos, se toma la señal del reloj sincronizado por satélite GPS, de modo que se garantiza la precisión requerida de 100 milisegundos para el registro secuencial de eventos. Esta marcación se efectúa en cada Controlador de Proceso y con cada una de las señales de entrada a éste.

El diseño del sistema cuenta con estándares de sistemas abiertos para trabajar en ambiente distribuido, utilizando arquitectura cliente-servidor o igual-a-igual ("peer to peer") con la última versión de MS Windows como sistema operativo de red. El sistema operativo suministrado para las estaciones clientes o iguales ("peer to peer") es la última versión disponible del sistema operativo Windows, incluyendo la prueba y la certificación de dicho sistema operativo en los paquetes de software y aplicaciones del DCS.

La red de supervisión y control general es TCP/IP sobre Ethernet, y la red de control del proceso cumple con Ethernet/IEEE 802.3.

Todo el software instalado en los equipos y los programas fuentes de todos los programas que desarrolle en los Controladores de Proceso y en las IHM's, cuenta con sus licencias de uso.

El sistema permite cambios de los puntos de ajuste, constantes de sintonía, modos de control y los parámetros de configuración desde las Estaciones de Operación (EOP's) y las Estaciones de Ingeniería (EIN's).

Los Controladores de Proceso (COP) y el subsistema de entradas y salidas, así como las fuentes de alimentación, cuentan con una reserva del 10% en todos los aspectos del DCS, para la realización de una futura ampliación.

El DCS tiene la capacidad de ejecutar aplicaciones de control avanzado, por si las condiciones de operación de la planta lo requieren.

El sistema de control diseñado se basa en cuatro criterios principales: estabilidad, agilidad, gestión de información e integración.

4.2.9.1. Estabilidad

La estabilidad del sistema de control se obtiene al utilizar equipos de automatización de última generación, los cuales poseen las siguientes características:

- ✓ Lenguajes de programación estándares.
- ✓ Protocolos de comunicación compatibles.
- ✓ Gran información de prestaciones.
- ✓ Equipos en expansión comercial, actualizables.
- ✓ Sistemas abiertos y accesibles a cualquier programador.
- ✓ Adaptados a las evoluciones e innovaciones del mercado.
- ✓ Servidores redundantes para aumentar la disponibilidad del sistema.

4.2.9.2. Agilidad

El sistema de control empleado posee agilidad para garantizar la funcionalidad del mismo, obtenida al integrar los sistemas y los protocolos de comunicación más rápidos y flexibles, con lo que se disminuyen las colisiones que puedan ralentizar el sistema, siendo dichos protocolos integrables por cualquier fabricante de equipos inteligentes de control.

4.2.9.3. Gestión de información

El sistema de control posee la capacidad de llevar toda la gestión de la instalación, integrando todo lo necesario para el control y supervisión de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en un único sistema. En él mismo se deben integrar informes, tendencias, gráficas y todos los sistemas de análisis que forman

parte del conjunto de gestión e información, así como el almacenamiento de todos los datos acontecidos en la instalación.

4.2.9.4. Integración

La integración de los equipos de control se obtiene mediante la compatibilidad de los lenguajes de gestión de la información de todos los dispositivos de control y las pantallas IHM's utilizadas en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

Las IHM's instaladas engloban la visión de campo de la instalación con la visión en el sistema de supervisión, creando un entorno semejante a la realidad, siendo intuitivo y accesible al operador, con el fin de facilitarle las labores de control de la instalación.

El Sistema de Control Distribuido (DCS) y las funciones asociadas al mismo son los responsables del control, monitoreo y gestión de los datos del sistema tecnológico completo. Está compuesto de equipos para el monitoreo, para el control remoto - manual y remoto - automático y de los equipos de comunicación para interconexión al interior y al exterior de la planta.

4.2.10. Niveles de jerarquía de control

Existen cuatro niveles de jerarquía de operación y supervisión para los controles de la planta de tratamiento de aguas residuales:

1. Panel de Control Local (PCL).
2. Panel de Control Central (PCC) ó Centro de Control de Motores (CCM).
3. Controlador de Proceso (COP).
4. Estaciones de Operación (EOP).

4.2.10.1. Nivel 1 – Panel de Control Local (PCL)

Corresponde al control del nivel más inferior y se ejecuta actuando sobre un Panel de Control Local (PCL) que comanda un único equipo. El PCL está ubicado físicamente muy cerca de cada uno de los equipos, como bombas, válvulas, transportadores de tornillos, centrífugas, compactadores, lavadores de arena, tamices rotativos, etc.

4.2.10.2. Nivel 2 – Panel de Control Central (PCC) ó Centro de Control de Motores (CCM)

Corresponde a un control que se ejecuta actuando sobre un panel llamado Panel de Control Central (PCC) o también actuando sobre un Centro de Control de Motores (CCM) que controla un único equipo. El PCC o el CCM están ubicados físicamente alejados del equipo controlado y típicamente en las subestaciones eléctricas. Sin embargo, algunos PCC's están cerca del equipo que controlan, suprimiendo la instalación y necesidad de un PCL.

Dentro de los PCC's o CCM's se encuentran disponibles al operador un conjunto de señalizaciones más amplio que en los PCL's, además de los enclavamientos y la protección del equipo controlado. Los tableros PCC, así como las gavetas de los CCM, tienen todos los canales y accesorios necesarios para la conexión de instrumentos, de enclavamientos y para la interconexión con otros tableros. En las gavetas del CCM el control de los arrancadores de motores se realiza por módulos UCI (Unidad de Control Integrada) con la funcionalidad para procesar, entre otros, comandos de arranque/parada, realizar enclavamientos, señalizar y comunicarse por red de bus de campo con el nivel de control superior.

4.2.10.3. Nivel 3 – Controlador de Proceso (COP)

Corresponde al control de varios equipos de un sistema que denominamos estación; como ejemplo de ello, se tienen las estaciones de bombeo, estación de sopladores, estación de contenedores, etc. Todas las estaciones de bombeo, vistas como la operación conjunta de más de dos bombas, son controladas desde este nivel, jerárquicamente superior, que está radicado en un Controlador de Proceso (COP). El COP es parte del Sistema de Control Distribuido (DCS) de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. Los COP's se encuentran localizados físicamente en los Cuartos de Control (CUC).

Desde los COP's también se lleva a cabo la coordinación de acciones de control entre equipos diferentes y entre estaciones localizadas en el propio proceso en el que operan. En estaciones con bombas y equipos de reserva se realizan las funciones de coordinación necesarias para seleccionar equipos de reserva en caso de falla de equipos en operación.

4.2.10.4. Nivel 4 – Estaciones de Operación (EOP)

Este nivel de control, que se lleva a cabo desde las Estaciones de Operación (EOP), ejecuta la coordinación de la operación de toda la planta, vista como un todo, desde el punto de vista del control; por ejemplo, desde las EOP's se realiza

el arranque coordinado de la planta después de una condición de “black out”. Las EOP's, como los COP's, son parte del DCS.

Desde este nivel se tiene supervisión y monitoreo permanente, en tiempo real, de la totalidad de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, de los subsistemas que la componen, así como de cada uno de los equipos individuales. Este nivel de control se encuentra físicamente localizado en el Centro de Control pero existen EOP's físicamente distribuidas en los Cuartos de Control de la mayoría de los edificios de procesos. Desde este nivel se lleva a cabo la operación normal de la planta.

4.2.11. Cambios en los niveles de control

Como se mencionó anteriormente el PCL es el nivel de control de mayor jerarquía y el EOP el de menor jerarquía. Cuando se selecciona una estación en modo LOCAL desde el PCL, las órdenes de control que se ejecutan son únicamente las del PCL. Para poder realizar una operación desde el PCC es obligatorio poner la selección del PCL en modo REMOTO.

En la *figura 5*, se observan los cambios de un nivel a otro. Los cambios de modos de funcionamiento local/remoto y automático/manual cumplen las siguientes condiciones:

- ✓ La transición de nivel superior a inferior (de PCL a EOP) se realiza de escalón en escalón, es decir que para pasar de PCL a EOP se ha de pasar por PCC y COP previamente. El mando se traspasa de forma escalonada.
- ✓ La selección LOCAL/REMOTO se realiza de forma que el control de mayor jerarquía es el que entrega en REMOTO al otro nivel, pero en ningún momento desde el otro nivel se puede tomar ese control.
- ✓ El sistema de control COP controla toda la línea o área, no controla los equipos por partes, por lo que no se puede producir la transición desde PCC-MANUAL a COP, siempre hay que pasar por PCC-AUTOMATICO y el traspaso es a COP-MANUAL. De esta manera se garantiza que la línea está preparada para ser gobernada de forma conjunta.
- ✓ En el nivel PCL el modo de funcionamiento es siempre MANUAL.
- ✓ El estado del equipo (marcha/parado, abierta/cerrada) se mantiene en la transición LOCAL/REMOTO o REMOTO/LOCAL.
- ✓ El estado del equipo (marcha/parado, abierta/cerrada) se mantiene en la transición MANUAL/AUTOMATICO o AUTOMATICO/MANUAL.

- ✓ Para pasar en el PCC de modo MANUAL a modo AUTOMATICO es imprescindible que todos los equipos gobernados por el PCC estén en marcha o todos los equipos estén parados.
- ✓ Los cambios en modo de funcionamiento, modificaciones de setpoints y órdenes locales de apertura o arranque y parada o cierre se ejecutaran atendiendo los protocolos de seguridad de acuerdo al perfil de acceso o rol del funcionario definido.

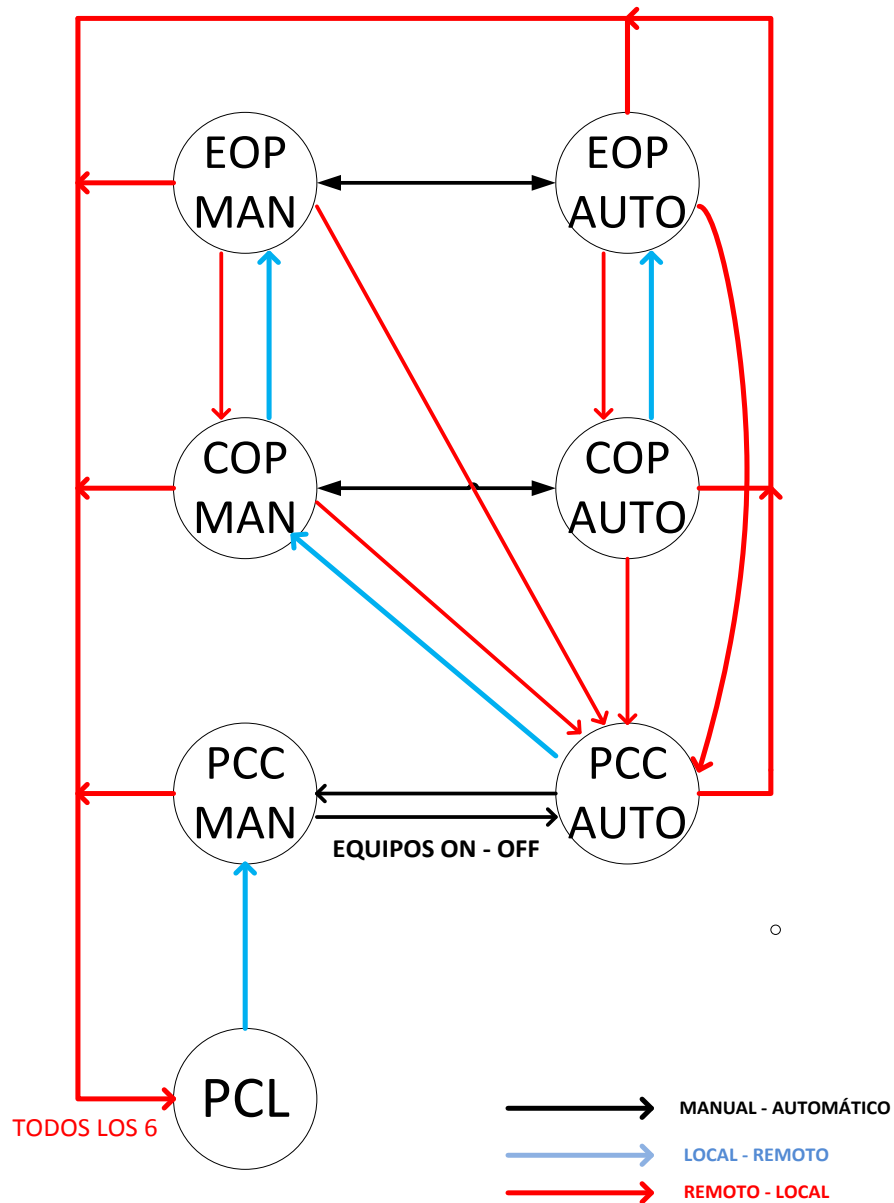


Figura 21. Niveles jerárquicos de control

4.2.12. Modo de control de los sistemas, equipos y dispositivos

En general cada sistema, equipo o dispositivo debe ser operado bajo los siguientes modos de control: “Local - Remoto”.

En el modo “Local” de operación, el sistema, equipo o dispositivo es operado directamente desde su interfaz IHM, PCL o CCM ubicado cerca o al lado del sistema, equipo o dispositivo.

En el modo “Remoto” de operación, el sistema, equipo o dispositivo es operado remotamente desde los niveles de control jerárquicos superiores a través de IHM’s ubicadas, en general, lejos del sistema, equipo o dispositivo. Cuando el nivel de control jerárquico superior corresponde a la operación desde el DCS, la palabra “Remoto” es sustituida por “DCS” con un significado equivalente.

4.2.13. Selección del modo de control de los sistemas, equipos o dispositivos

La selección del modo de control de cada sistema, equipo o dispositivo se realiza a través de selectores de control con las posiciones “Local – Remoto (o DCS)” o, dependiendo del caso “Local - 0 - Remoto (o DCS)”, los cuales están instalados en los PCL’s, PCC’s o CCM’s, bien a modo de selector físico o lógico desde la correspondiente pantalla IHM.

4.2.14. Control desde el Panel de Control Local (PCL)

Cada uno de los equipos o dispositivos a controlar posee un PCL, físicamente localizado muy cerca de los equipos, en el que se encuentra instalado un selector de control con las posiciones “Local - 0 - Remoto”. En la posición “Local” del selector, el equipo o dispositivo es operado directamente por el operador desde su propio PCL, haciendo uso de botones pulsadores de arranque - paro y la IHM, en los casos que aplique. En este modo de control no se ejecutan mandos desde los niveles de control superiores y sólo se utiliza para verificar el estado del equipo o dispositivo, hacer pruebas del mismo, chequear sentido de giro (en caso de que sea aplicable) y con enclavamientos mínimos de seguridad que sean indispensables a este nivel.

En la posición “0” (cero) del selector, el equipo o el dispositivo no pueden ser comandados ni remotamente ni por el operador desde su propio PCL. Es una posición para mantenimiento o vigilancia visual del equipo.

En la posición “Remoto” del selector, el control del equipo o dispositivo se transfiere a niveles de control superiores, es decir, que el equipo o dispositivo es

operado desde PCC, CCM o COP. En remoto no se ejecutan mandos desde el PCL, es decir, que si se operan los pulsadores de arranque - paro, éstos no producen ninguna acción sobre el equipo. Este modo de control es el modo de operación normal del equipo o dispositivo y la ejecución de los enclavamientos básicos de seguridad del equipo o dispositivo se realiza directamente en el PCC o en el CCM mediante lógica programada.

El PCL cuenta con un botón pulsador de parada con retención mecánica con el fin de proveer al operador local un mando de paro del equipo o dispositivo en caso de detectar una condición anormal en el mismo.

4.2.15. Control desde el Panel de Control Central (PCC)

Los equipos o dispositivos a controlar tienen un PCC, en algunos casos físicamente localizado cerca de los equipos y en otros casos alejados de los mismos, típicamente instalados en las subestaciones, desde el cual se realizan las funciones de control propiamente dichas del equipo. En él se encuentra instalado un selector de control con las posiciones “Local - DCS”.

En la posición “Local” del selector, el equipo o dispositivo es operado directamente por el operador desde su propio PCC haciendo uso de la IHM del tipo gráfico o, en otros casos particulares, haciendo uso de botones pulsadores de arranque – paro, convencionales que posee el PCC. Este modo es utilizado para la operación eventual del equipo o dispositivo en caso de una indisponibilidad en los niveles de control superiores, y no se ejecutan mandos desde los niveles de control superiores.

En la posición “DCS” del selector, el control del equipo o dispositivo se transfiere a niveles de control superiores, es decir, que el equipo o dispositivo es operado desde el COP o desde la EOP. El COP y la EOP hacen parte de los equipos del DCS. En “DCS” no se ejecutan mandos localmente desde el PCC, es decir, que si se hace uso de la IHM del tipo gráfico o si se operan los pulsadores de arranque-paro, estos no producen ninguna acción sobre el equipo o dispositivo.

El modo de control “DCS” en el PCC es el modo de operación normal del equipo o dispositivo y la ejecución de los enclavamientos básicos de seguridad del equipo o dispositivo se realizan directamente en el PCC mediante lógica programada, puesto que la estrategia de control, dentro de los PCC's, es diseñada haciendo uso de PLC's.

4.2.16. Control desde el Centro de Control de Motores (CCM)

Los equipos o dispositivos que no tienen control desde el nivel del PCC poseen un sitio de control que está localizado en el CCM. Los CCM's están localizados en las subestaciones. En ellos, se instalan selectores de control con las posiciones "Local - DCS". En la posición "Local" del selector, el equipo o dispositivo es operado directamente por el operador desde el CCM, haciendo uso de la IHM del tipo gráfico o, en otros casos particulares, haciendo uso de botones pulsadores de arranque-paro convencionales que posee el CCM. Este modo es utilizado para la operación eventual del equipo o dispositivo en caso de una indisponibilidad en los niveles de control superiores, y no se ejecutan mandos desde los niveles de control superiores.

En la posición "DCS" del selector, el control del equipo o dispositivo es transferido a niveles de control superiores, es decir, que el equipo o dispositivo es operado desde el COP o desde la EOP. El COP y la EOP hacen parte de los equipos del DCS. En "DCS" no se ejecutan mandos localmente desde el CCM, es decir, que si se hace uso de la IHM del tipo gráfico o si se operan los pulsadores de arranque-paro, estos no producen ninguna acción sobre el equipo o dispositivo.

El modo de control "DCS" en el CCM es el modo de operación normal del equipo o dispositivo y la ejecución de los enclavamientos básicos de seguridad del equipo o dispositivo se realizan directamente en el CCM mediante lógica programada puesto que la estrategia de control, dentro de los CCM, es diseñada haciendo uso de PLC's.

4.2.17. Control desde el Controlador de Proceso (COP)

En este nivel de control se tienen las funciones y visualizaciones del sistema como un todo y, por ende, su programa de control asociado.

En el COP se implanta un selector de control por software con las posiciones "Local - Remoto". El COP está localizado en el Cuarto de Control del edificio de proceso y posee una IHM del tipo gráfico a través de la cual el operador puede seleccionar el modo de control del sistema o de la estación y, en general, interactuar con el proceso.

En la posición "Local" del selector por software, el sistema o la estación opera directamente desde el COP de dos maneras: "Local - Manual" o "Local - Automática".

En el modo "Local - Manual" el operador desde la IHM del COP ejecuta mandos de arranque - paro y/o establece "setpoints" a cada uno de los dispositivos o equipos que componen el sistema o la estación.

En el modo “Local - Automática”, es el COP quien realiza las funciones del sistema automáticamente; en este modo de control el operador establece “setpoints” al sistema o a la estación como tal.

En la posición “Remoto” del selector por software, el control del sistema es transferido al nivel de control superior, es decir, que el COP recibe los mandos desde las EOP's ubicadas en el Centro de Control del DCS o de las EOP's ubicadas en el edificio de control del proceso (Cuarto de Control). Este modo de control es el modo de operación normal del COP.

4.2.18. Control desde las Estaciones de Operación (EOP)

Se tienen EOP's en el Centro de Control del DCS ubicado en el edificio administrativo y en determinados edificios de proceso.

En las estaciones de operación se implanta un selector de control por software con las posiciones “Remoto - Manual” o “Remoto - Automático”, a través del cual se permite ejecutar el control de manera manual por parte del operador o de manera automática directamente por parte del DCS, de manera similar a cómo se realiza desde las IHM de los COP.

En general, desde las estaciones de operación se envían mandos de arranque-paro y/o se emiten “setpoints” a todos los sistemas y equipos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales y continuamente se tiene supervisión del estado operativo de los mismos.

4.2.19. Descripción de la arquitectura del sistema de control

La arquitectura que se propone en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales emplea, en la mayor medida posible, sistemas desarrollados a partir de equipos y lenguajes de programación estándares de mercado, asegurando flexibilidad en el mantenimiento y posibilidad de adecuar las instalaciones a las innovaciones tecnológicas que surjan en el mercado.

En la *figura 22* se observa la arquitectura del sistema de control de los tanques desarenadores. En ella se puede ver el gabinete de bus de campo CBS-0401, la *Field Barrier* FB-040101, el Gateway GW-040101, los Profihub PH-040101, PH-040102 y PH-040103, el protector de segmentos PS-040101 y, finalmente el controlador de los transmisores analíticos [20].

²⁰ Osorio, Ronald Leonardo.

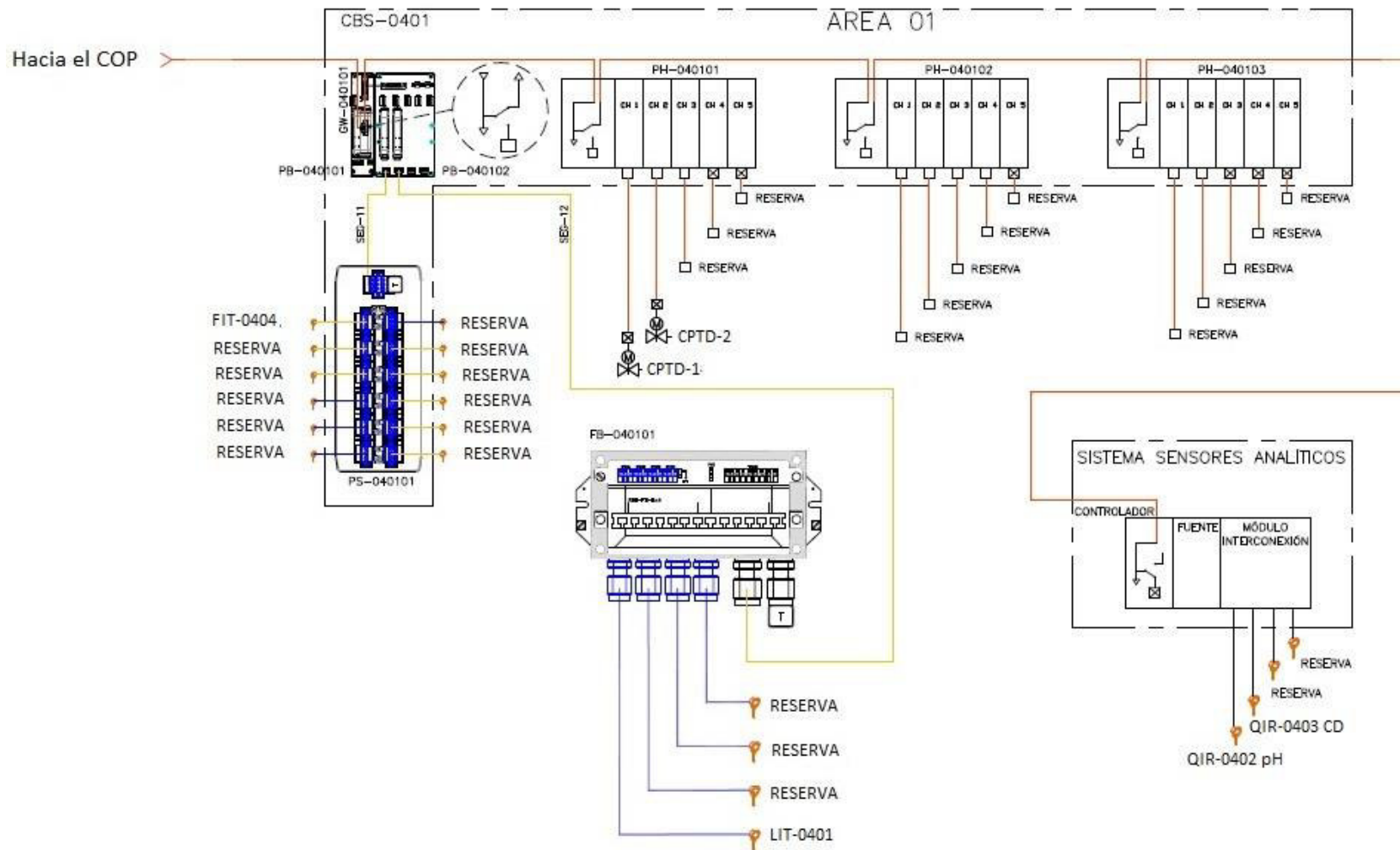


Figura 22. Arquitectura del sistema de control de los tanques desarenadores.

Fuente: el autor

4.2.19.1. CBS-0401

El gabinete de bus de campo “CBS-0401” se encarga de recoger todas las señales de la instrumentación de campo que maneja protocolo profibus PA y profibus DP para concentrarla en un Gateway (GW-040101), y de esta manera subirla a la red profibus DP que comunica todos los controladores de proceso.



Figura 23. Gabinete de Bus de Campo

Fuente: el autor

Para la recolección de las señales de la instrumentación de campo profibus PA se utilizan las tarjetas protectores de segmentos “PS-040101”. Los protectores de segmentos se encargan de alimentar el segmento profibus y protegerlo contra sobretensiones e interferencias por ruido electromagnético externo, toda la

instrumentación profibus PA que no sea intrínsecamente segura, debe ir conectada a un protector de segmentos.
Para éste caso se propone conectar el FIT-0404 al protector de segmentos y de esta manera se obtiene la lectura de dicha variable para ser transmitida al controlador de proceso.

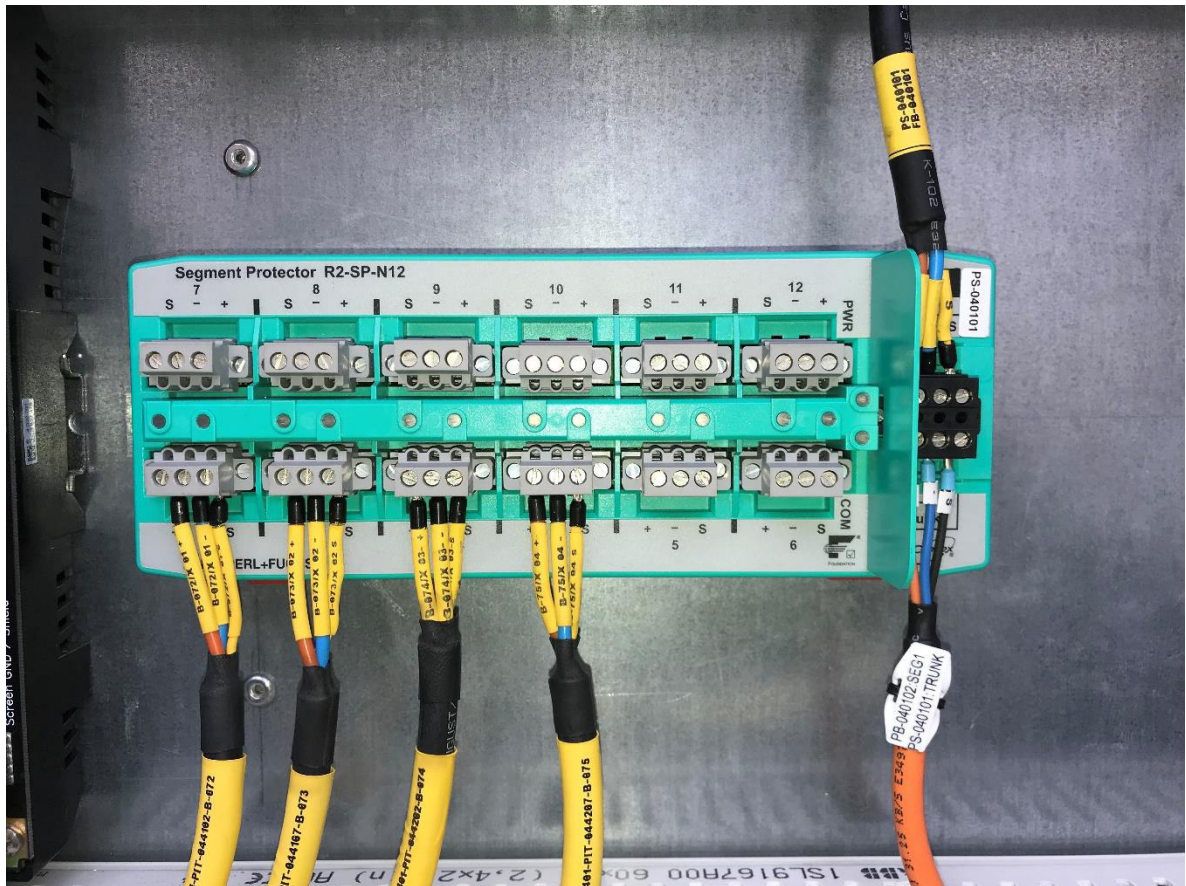


Figura 24. Protector de Segmentos.

Fuente: el autor

La Seguridad Intrínseca es un método de protección contra explosiones basado en el criterio de “Prevención”. El empleo de este método previene la ignición del medio inflamable gracias a que los instrumentos colocados en el área peligrosa son incapaces de generar o almacenar suficiente energía, a la vez que se limita, mediante el empleo de dispositivos conocidos como Barreras de Seguridad

Intrínseca, la energía que le es suministrada al instrumento desde el área segura [21].

Como el LIT-0401 se encuentra en un área clasificada clase 1 división 1, dado que el producto que se encuentra en los tanques es agua residual, ésta señal debe estar asegurada con algún tipo de protección, en este caso la seguridad implementada es de intrínseca, por tal motivo el transmisor debe ir conectado a una barrera de campo "FB-040101" que es la encargada de proteger la señal del transmisor limitándola en potencia y así mismo evitando que pueda producir una chispa la cuál puede desencadenar una explosión. Los circuitos intrínsecamente seguros deben ir marcados de color azul, es decir, la chaqueta del conductor del cable es azul y la cinta por donde van dichas señales debe ir marcada con cinta azul [22].



Figura 25. Barrera de seguridad intrínseca

Fuente: el autor

²¹ Osorio, Ronald Leonardo.

²² Noma Técnica Colombia 2050. Artículo 504-70.

Finalmente se tiene el controlador de la instrumentación analítica, cuyo objetivo principal es recoger las señales de los sensores analíticos QIR-0402 (pH) y QIR-0403 (Conductividad) y subirlas a la red profibus DP que conecta con el controlador de proceso COP.

Los demás puntos de conexión quedan como reserva por si al transcurrir el tiempo, se desea hacer una ampliación de la planta de tratamiento de aguas residuales.

5. RESULTADOS

Se logró describir y detallar las pautas, rutinas y lazos de control del funcionamiento del sistema de control distribuido de los tanques desarenadores de una planta de tratamiento de aguas residuales. De igual forma se dio a conocer la arquitectura de control y la instrumentación utilizada para tal fin, la implementación en conjunto de la misma y los buses de campo empleados para la comunicación entre la instrumentación de campo y el Sistema de Control Distribuido.

Como resultado teórico y académico, la investigación proporciona una fuente de información sobre el desarrollo de sistemas automáticos de control para plantas de tratamiento de aguas residuales empleando instrumentación real y un sistema de control distribuido real.

6. RECOMENDACIONES

Con el trabajo realizado se pretendía conocer de forma general el sistema de control distribuido para el control de una planta de tratamiento de aguas residuales, la instrumentación que se puede utilizar para dicho control, los buses de campo utilizados y así mismo las tarjetas electrónicas y los paneles de control y de campo concentradores de señal.

Es recomendable como trabajo futuro, seguir ampliando los conocimientos y generar un semillero de investigación que apoye la generación de estudios en el campo de las aguas, ya que a futuro, es un proyecto que a nivel global generará un impacto altamente positivo para toda la comunidad en general. Buscar estrategias de control, implementación de instrumentación y generación de resultados orientados al mejoramiento de la calidad de vida.

7. CONCLUSIONES

Con el desarrollo del trabajo de grado, se logró dar a conocer la aplicación del control en un sector que hasta el momento está siendo explorado en nuestro país, como lo es el tratamiento de las aguas residuales; además se explicó de manera detallada el Sistema de Control de los tanques desarenadores, los paneles de control local y central, el centro de control de motores y así mismo la forma como funcionan los tanques desarenadores en la fase preliminar del tratamiento de aguas residuales.

Se dio a conocer la arquitectura del sistema de control de los tanques desarenadores, los elementos y dispositivos que la conforman y la importancia de cada uno al momento de recoger las señales de campo; así mismo se realizó un estudio de la instrumentación que se debe utilizar para lograr los valores de control deseados y obtener un producto final a conformidad, analizando el principio de medición de cada uno de ellos, la facilidad en el momento de realizar el montaje y la robustez de cada uno para soportar ambientes hostiles.

Se identificaron los lazos de control que pueden influir de manera importante en el control de las variables de proceso (nivel y flujo); además se analiza el impacto de cada uno de ellos en el proceso con el fin de que ha futuro se pueda estudiar el diseño del controlador de cada uno de ellos.

Con la realización de ésta monografía se inicia un proceso de investigación en el ámbito del tratamiento de las aguas residuales, ya que si algún estudiante decide diseñar el controlador, tenga un punto de partida y le sirva ésta información para llegar a tal fin.

8. BIBLIOGRAFÍA

METCALF, Eddy. Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. Ed. Mc.Graw-Hill (1998).

LIZARAZO Jenny, ORJUELA Martha. Sistema de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en Colombia. Universidad Nacional seccional Medellín. Colombia. 2013. Pág 21.

OGATA Katsuhiko. Ingeniería de control moderna. Cuarta edición. Pearson Educación S.A. Madrid 2003. Pág 7.

ANSI/ISA-5.1-2009 "*Instrumentation Symbols and Identification*".

IEC 60348: "Safety Requirements for Electronic Measuring Apparatus".

IEC 603: "Connectors for frequencies below 3 MHz for use with printed boards".

CISPR 11: "Limits and methods of measurements of electromagnetic disturbance characteristics of industrial, scientific and medical (ISM) radiofrequency equipment"

IEC-60529: "The degree of protection of the enclosures for electrical equipment".

LIZARAZO Jenny, ORJUELA Martha. Sistema de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en Colombia. Universidad Nacional seccional Medellín. Colombia. 2013. Pág 21.

<https://www.vega.com/es-ES/Zona-de-descarga> [Citado en 2017]

<https://www.yisi.com/sensolyt> [Citado en 2017]

<https://www.yisi.com/File%20Library/Documents/Manuals/ba76018-TetraCon-700-IQ-e01.pdf> [Citado en 2017]

https://portal.endress.com/wa001/dla/5000319/0455/000/04/TI047DEN_1109.pdf [Citado en 2017]

Noma Técnica Colombia 2050. Artículo 504-70.