



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

PROYECTO DE GRADUACIÓN

COMISIONAMIENTO Y PUESTA EN MARCHA DE SISTEMA SCADA PARA PLANTA

DE TRATAMIENTO DE AGUA, BECO

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO

INGENIERO EN MECATRÓNICA

PRESENTADO POR:

21441050 OSMAN ORLANDO OLIVA OSORIO

ASESOR: ING. DARWIN REYES HERNÁNDEZ

CAMPUS SAN PEDRO SULA

MAYO 2019

DEDICATORIA

A Dios: Por permitirme culminar mis estudios satisfactoriamente, por darme fuerzas y salud en todo momento. Por guiar mis pasos y darme sabiduría para tomar las decisiones correctas. La gloria siempre sea para él.

A mamá: Por tu amor incondicional, por tus consejos y regaños para formar de mi un hombre de bien. Por todo el esfuerzo que hiciste para poder pagar mis estudios, por todas las motivaciones y charla que hemos tenido, sé que no fue fácil y este triunfo va dedicado para ti. Sé que has esperado tanto para este momento y solo queda decirte "Gracias mamá".

A papá: Por tu amor incondicional, por todo el trabajo duro que has tenido para poder darnos a mí y mi hermano la mejor educación posible. Por todas las pláticas, por ser siempre ese ejemplo para seguir y por nunca rendirse y siempre estar motivándonos. Hemos llegado al final del camino y solo me queda decirte "Lo logramos papá."

A Marvin: Por estar ahí conmigo, por preguntarme cómo ha ido en la universidad, por distraernos cuando teníamos mucha carga académica. Por siempre ser mi mejor amigo, aunque mucho nos molestemos, pero siempre tendrás mi apoyo incondicional.

A mis amigos: Por todos los buenos momentos que pasamos en la universidad, por qué no todo en la vida es estudiar si no que también salíamos a distraernos y divertirnos. Por todo el apoyo que nos dimos en las clases, lo hemos logrado amigos.

A Adriana: Por siempre estar ahí para mí, por escucharme a cualquier hora del día y darme todo tipo de consejos, por ser siempre ese motor que me motiva a seguir adelante. Por nunca dejar que me rinda, y por apoyarme en todo momento hasta el final del camino. Es un paso más para poder crear un futuro juntos.

RESUMEN EJECUTIVO

La presente tesis se enfoca en el comisionamiento y puesta en marcha de un sistema SCADA en la nueva planta de tratamiento de agua de la unidad #3 en BECO S.A. En el primer capítulo se da una breve introducción a lo que es el proyecto de investigación, aludiendo a conceptos que el lector deberá tener claro antes de iniciar la lectura de este. En el segundo capítulo se describe los antecedentes de la empresa y como han sido afectados por ello. Se plantea la problemática, se establece el objetivo general y los objetivos específicos de la presente tesis, así como las preguntas de investigación relacionadas al problema en cuestión y finalmente la justificación. El tercer capítulo refiere al marco teórico describiendo inicialmente lo que es una caldera, y que tipo de caldera es utilizada dentro de la empresa. Asimismo, se expone sobre el proceso de tratamiento de agua en la empresa, describiendo cada proceso que lleva y los principales problemas de no tratar el agua. Este capítulo trata también con los sistemas SCADA y sus principales funciones, también un poco sobre los PLC. En el cuarto capítulo se expone la metodología utilizada en la investigación, entre los cuales se encuentran las variables dependientes e independientes, el enfoque y los métodos, y un cronograma mostrando las actividades realizadas durante la investigación. En el quinto capítulo se presentan los resultados obtenidos durante las calibraciones de los instrumentos; también se presenta el valor de la demanda de agua que tendrá la nueva planta de tratamiento de agua. En el sexto y séptimo capítulo se presentan las conclusiones y las recomendaciones a las que se llegaron con el estudio. Se responde el objetivo general y específicos de la tesis; y se enuncian las recomendaciones tanto para la universidad como para la empresa.

ABSTRACT

This thesis focuses on the commissioning and implementation of a SCADA system in the new water treatment plant of unit # 3 in BECO S.A. In the first chapter there is a brief introduction to what is the research project, alluding to concepts that the reader should be clear before starting to read it. The second chapter describes the background of the company and how they have been affected by it. The problem is posed, the general objective and the specific objectives of this thesis are established, as well as the research questions related to the problem in question and finally the justification. The third chapter refers to the theoretical framework describing initially what a boiler is, and what type of boiler is used within the company. Also, it exposes the process of water treatment in the company, describing each process that takes and the main problems of not treating the water. This chapter also deals with SCADA systems and their main functions, also a little about PLCs. In the fourth chapter the methodology used in the research is exposed, among which are the dependent and independent variables, the approach and the methods, and a chronogram showing the activities carried out during the investigation. In the fifth chapter the results obtained during instrument calibrations are presented; The value of the water demand of the new water treatment plant is also presented. In the sixth and seventh chapters the conclusions and recommendations that were reached with the study are presented. The general and specific objective of the thesis is answered; and the recommendations for both the university and the company are enunciated.

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
2.1	ANTECEDENTES.....	3
2.2	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	4
2.3	PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	4
2.4	OBJETIVOS	5
2.4.1	OBJETIVO GENERAL	5
2.4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
2.5	JUSTIFICACIÓN	6
III.	MARCO TEÓRICO	8
3.1	CALDERAS	8
3.1.1	CLASIFICACIÓN DE LAS CALDERAS.....	8
3.1.2	CALDERAS DE LECHO FLUIDIZADO CIRCULANTE.....	10
3.1.3	COMBUSTIÓN	11
3.1.4	CICLO RANKINE.....	12
3.2	AGUA DE ALIMENTACIÓN DE CALDERAS.....	14
3.2.1.	IMPUREZAS EN EL AGUA DE ALIMENTACIÓN.....	15
3.2.2.	REQUERIMIENTOS DE AGUA DE ALIMENTACIÓN EN CALDERAS.....	15
3.3	PROCESO DEL TRATAMIENTO DEL AGUA.....	16
3.3.1	CLARIFICACIÓN DEL AGUA.....	17
3.3.2	FILTRO DE AGUA MULTIGRADO DE ARENA	17
3.3.3	ULTRAFILTRACIÓN.....	18
3.3.4	OSMOSIS INVERSA.....	19
3.3.5	DESGASIFICADOR.....	20
3.3.6	TANQUE DE LECHO MIXTO.....	21
3.3.7	AGUA DESMINERALIZADA.....	21
3.4	SISTEMA SCADA	22
3.4.1	FUNCIONES DE UN SISTEMA SCADA.....	22
3.4.2	PARTES DE UN SISTEMA SCADA	24
3.4.3	SOFTWARE DE SISTEMA SCADA	25
3.5	INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL.....	26
3.5.1	INDICADORES E INTERRUPTORES DE PRESIÓN.....	27

3.5.2	TRANSMISORES DE PRESIÓN DIFERENCIAL.....	28
3.5.3	INDICADORES E INTERRUPTORES DE NIVEL.....	29
3.5.4	TRANSMISORES DE NIVEL	30
3.5.5	ROTÁMETROS	31
3.5.6	TIPOS DE ANALIZADORES.....	32
3.5.7	TRANSMISORES ELECTROMAGNÉTICOS Y SWITCHES DE FLUJO.....	34
3.5.8	CONTROLES DE TEMPERATURA	35
3.6	CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE.....	35
3.6.1	COMPONENTES DE UN PLC.....	36
3.6.2	ENTRADAS Y SALIDAS DE UN PLC	38
IV.	METODOLOGÍA	40
4.1	HIPÓTESIS	40
4.1.1	VARIABLES DEPENDIENTES.....	40
4.1.2	VARIABLES INDEPENDIENTES	41
4.2	MÉTODO Y ENFOQUE	41
4.3	FUENTES DE INFORMACIÓN	42
4.4	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS	43
4.5	CRONOGRAMA	44
V.	RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	45
5.1	REVISIÓN GENERAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA UNIDAD #3	45
5.2	DEMANDA DE AGUA	46
5.3	CONEXIONES DE INSTRUMENTOS	48
5.4	CALIBRACIÓN Y COMISIONAMIENTO DE LOS INSTRUMENTOS.....	51
5.3.1.	CALIBRACIÓN DE TRANSMISORES.....	52
5.3.2.	CALIBRACIÓN DE INDICADORES DE PRESIÓN	53
5.3.3.	CALIBRACIÓN DE INDICADORES DE NIVEL, FLUJO, CONDUCTIVIDAD Y TEMPERATURA.....	54
5.3.4.	CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTOS CON SEÑALES ANALÓGICAS Y DIGITALES	55
VI.	CONCLUSIONES	58
VII.	RECOMENDACIONES	59
VIII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61
IX.	ANEXOS	65

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Esquema de caldera piro tubular	10
Ilustración 2. Esquema de caldera acuotubular	10
Ilustración 3. Caldera de lecho fluidizado	11
Ilustración 4. Diagrama T-s de un ciclo Rankine	13
Ilustración 5. Esquema básico de una planta de generación de potencia mediante vapor	14
Ilustración 6. Filtros multigrados juntos	18
Ilustración 7. Proceso de osmosis inversa	20
Ilustración 8. Arreglo de desgasificador	20
Ilustración 9. Funciones de un sistema SCADA	24
Ilustración 10. Esquema de interconexión en un sistema SCADA	25
Ilustración 11. Manómetro Instrutek	28
Ilustración 12. Transmisor de presión diferencial Rosemount	29
Ilustración 13. Indicador de nivel con flotador	30
Ilustración 14. Interruptor de nivel con flotador	30
Ilustración 15. Transmisor de nivel ultrasónico Siemens	31
Ilustración 16. Rotámetros de marca Malema	32
Ilustración 17. Analizador de pH Yokogawa	33
Ilustración 18. Analizador de turbidez HACH	33
Ilustración 19. Analizador de conductividad Yokogawa	34
Ilustración 20. Transmisor de flujo Endress-Hauser	35
Ilustración 21. Componentes básicos de un PLC	38
Ilustración 22. Comunicador de campo 475 HART	44
Ilustración 23. Cajas de conexiones en la planta	45
Ilustración 24. Transmisores de flujo ya instalados	46
Ilustración 25. Instrumentos en planta de tratamiento de agua	49
Ilustración 26. Borneras en gabinete en el cuarto de control	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de calderas en la industria	9
Tabla 2. Requerimientos agua de alimentación calderas vapor según BS 2486	16

Tabla 3. Requerimientos agua de caldera según BS 2486.....	16
Tabla 4. Software SCADA más comunes	26
Tabla 5. Cronograma de actividades semanales	44
Tabla 6. Tipo y cantidad de instrumentos.....	48
Tabla 7. Cable Schedule de la caja de conexiones ICJB-01	50
Tabla 8. Tabla de calibración para transmisores	52
Tabla 9. Tabla de calibración de indicadores de presión.....	53
Tabla 10. Tabla de calibración de indicadores de nivel y flujo	54
Tabla 11. Tabla de calibración de indicadores de conductividad y temperatura	55
Tabla 12. Tabla de calibración de instrumentos con señales analógicas.....	55
Tabla 13. Tabla de calibración de instrumentos con señales digitales	57

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Fórmula de flujo volumétrico	47
--	----

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Diagrama P&ID de planta de tratamiento de agua unidad #3 (Parte 1)	65
Anexo 2. Diagrama P&ID de planta de tratamiento de agua unidad #3 (Parte 2)	66
Anexo 3. Calibración de manómetro con bomba para calibración	67
Anexo 4. Proceso de ultrafiltración en planta de tratamiento de agua	68
Anexo 5. Tanque desgasificador en planta de tratamiento de agua.....	69

GLOSARIO

- **Agua Desmineralizada:** es el agua completamente libre (o casi) de minerales o sólidos disueltos.
- **Comisionamiento:** es el conjunto de actividades necesarias para verificar que el proyecto ejecutado cumple con los requisitos (OPR) definidos inicialmente por el Promotor.
- **Corrosión:** no es más que una reacción química producto de la unión del metal con el oxígeno.
- **Flushing:** consiste en liberar y remover partículas contaminantes del sistema, forzando un fluido a alta velocidad a través del mismo.
- **Impureza:** Sustancia o conjunto de partículas extrañas a un cuerpo que, al mezclarse con este, le hacen perder la pureza.
- **Incrustación:** Capa de residuos minerales que se forma en la superficie de algunos cuerpos.
- **Instrumentación:** Conjunto de instrumentos necesarios para llevar a cabo una actividad o llegar a una solución.
- **Señal Analógica:** es una señal que varía de forma continua a lo largo del tiempo.
- **Señal Digital:** es aquella que presenta una variación discontinua con el tiempo y que sólo puede tomar ciertos valores discretos.
- **Sistema SCADA:** es el conjunto de software y hardware que sirven para poder comunicar, controlar y supervisar diversos dispositivos de campo, así como controlar de forma remota todo el proceso.

I. INTRODUCCIÓN

La automatización en la industria hondureña se ha ido mejorando a medida que pasan los años, siendo así que se han desarrollado sistemas de control SCADA para todo tipo de empresa, ya sea automotriz, industrial, eléctrica, alimenticia, etc. "Históricamente, los objetivos de la automatización han sido el procurar la reducción de costes de fabricación, una calidad constante en los medios de producción, y liberar al ser humano de las tareas tediosas, peligrosas e insalubres" (García Moreno, 1999, p. 1). La mecatrónica es la encargada de generar soluciones basadas en la creatividad e innovación en sistemas de control y automatización de procesos industriales.

Bijao Electric Company S.A. de C.V. es una empresa generadora de energía eléctrica que cuenta con tres calderas de generación de vapor de 142 Ton y tres turbo-generadores con capacidad de 35 MW cada uno. Estas se alimentan a base de combustible fósil (Pet coke y Carbón). La función principal de la empresa es generar y comercializar energía eléctrica, sus principales clientes son Gildan, Cementos del Norte S.A. y la ENEE.

Siendo BECO una central termoeléctrica, esta obtiene la energía mediante el vapor que se forma al hervir el agua de la caldera. El vapor generado tiene una gran presión y llega a las turbinas para que sea capaz de mover los álabes de las mismas. Por tanto, lo primero que se tiene que tratar antes de producir el vapor es el agua, asegurándose que esté libre de impurezas.

Actualmente, la empresa cuenta con una planta de tratamiento de agua para las tres unidades de caldera, y son bastante altos los consumos de agua que utilizan. Es por eso que la empresa

decidió crear una nueva planta de tratamiento de agua, para reducir ese consumo y usar lo adecuado en la unidad.

Este proyecto tiene como objetivo desarrollar el comisionamiento y puesta en marcha de un sistema de control SCADA en la nueva planta, con ello se podrá tener un mejor control de todas las presiones, flujos, temperaturas, y niveles de agua que la caldera necesita. Mediante el sistema SCADA, el operador podrá estar revisando el proceso completo del agua y así producir el vapor de alta calidad.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 ANTECEDENTES

Bijao Electric Company S.A. de C.V. es una empresa que se caracteriza por operar la planta termoeléctrica de 105 MW, en el departamento de Cortés. Esta comenzó a funcionar en el año 2015 y empezó con dos unidades de calderas, generando solo 70 MW en total. Fue en el año 2018 donde se montó la tercera unidad de caldera, permitiéndoles generar un total de 105 MW, de los cuales 30 MW se venden en el mercado eléctrico y el resto se utiliza para las operaciones de la empresa.

Son muchos los procesos que se realizan en las tres unidades para poder generar la energía eléctrica, siendo el tratamiento del agua uno de los procesos más importantes de la planta. El agua tiene que ser tratada antes de ser ingresada a la caldera, libre de impurezas y gases, y es aquí donde la planta de tratamiento de agua entra en acción.

El agua viene de unos pozos que están ubicados a las afueras de la empresa, a unos 500 metros de distancia aproximado, y es transportada por bombas hacia un tanque de agua cruda. Este tanque tiene la capacidad de almacenar 1,028,164,160 galones de agua. Teniendo el agua almacenada en el tanque, esta pasa a los procesos de la planta de tratamiento y una vez la misma este desmineralizada ya es posible transportarla hacia la caldera.

Actualmente la empresa solo cuenta con una planta de tratamiento de agua, ya que la planta de la tercera unidad aún no ha sido comisionada y hace falta poner en marcha el sistema central. Contando con un sistema SCADA en la planta, se pueden monitorear los

valores de magnitud física que muestra el agua, como ser el pH, la presión, el flujo, conductividad, etc.

La planta cuenta con transmisores de flujo, de presión, de pH, de temperatura, de presión diferencial, de oxígeno. Todos estos midiendo y mostrando el valor en el SCADA, teniendo un mejor control de la planta y solucionar cualquier problema que se presente.

2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Inicialmente la planta de BECO S.A. solo iba a constar de dos unidades gemelas de 35 MW cada una, por lo cual solo contaba con una planta de tratamiento de agua común para ambas unidades. Posteriormente, se adquirió una nueva unidad de 35 MW, y para poder suplir la demanda de agua para las tres unidades, se requería una nueva planta de tratamiento de agua para poder abastecer la nueva unidad.

Actualmente, la nueva planta de tratamiento de agua no cuenta con el comisionamiento, ni con un sistema SCADA para poder monitorear todas las magnitudes físicas del agua. Otro problema que se pudo encontrar y que los supervisores de instrumentación comentaron, es que se pierde mucha agua durante disparos y fugas, que una sola planta de tratamiento no puede suplir como se debe. Es por eso que se creó la nueva planta de tratamiento y así poder abastecer todas las unidades como es debido.

2.3 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

Después de varias visitas a la planta de tratamiento de agua #1 con los supervisores del área de instrumentación, y para poder encontrar la solución al problema presentado anteriormente se hicieron las siguientes interrogantes:

1. ¿Cuál es la demanda de agua que tendrá la nueva planta de tratamiento de agua para la unidad #3?
2. ¿Cómo se verá afectado el nivel de agua en los tanques de agua desmineralizada?
3. ¿Cómo actuarán todas las señales en el comisionamiento de la planta?
4. ¿Cuál será el resultado de las calibraciones y puesta en marcha de los equipos de instrumentación?

Estas interrogantes surgieron al observar el sistema de control que está en la planta de tratamiento de agua #1 y con pláticas del personal de la planta.

2.4 OBJETIVOS

En una investigación los objetivos son de vital importancia, ya que determinan el alcance de un proyecto y lo que se pretende lograr durante la elaboración del mismo.

Muñoz Razo (2015) afirma:

El objetivo debe explicar en palabras llanas y simples cuál es el propósito que se pretende alcanzar con la investigación, el cual se identificará fácilmente si ya se sabe que se desea hacer, qué se pretende alcanzar y, quizá lo más importante, el fin último que buscará el alumno con la tesis. (p. 70)

2.4.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar la implementación del comisionamiento y puesta en marcha del sistema SCADA en la nueva planta de tratamiento de agua de la unidad #3.

2.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la demanda de agua que tendrá la nueva planta de tratamiento de agua.
- Establecer el comisionamiento de todas las señales de control, tanto analógicas como digitales, verificando que en el SCADA los valores entregados sean reales.
- Elaborar la calibración y puesta en línea de instrumentación de campo.

2.5 JUSTIFICACIÓN

BECO S.A. es una empresa líder en la generación de energía eléctrica dentro del sistema nacional, debido a que se ha desarrollado el comisionamiento y puesta en línea de un sistema SCADA adecuado para cada proceso en la planta y esto permite tener el control de todas las unidades. Es allí donde surge la necesidad de dar el comisionamiento y puesta en marcha del sistema SCADA en la nueva planta de tratamiento de agua, para poder revisar que la planta funcione de manera normal y cumpla con su objetivo principal.

El objetivo principal del tratamiento de agua será evitar problemas de corrosión e incrustaciones, asegurando la calidad del agua de alimentación y del agua contenida en la caldera (Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid - FENERCOM, 2013).

Tras el comisionamiento de la misma, se podrá trabajar con todos los transmisores, sensores y actuadores de la planta, y así ver ya en línea como actúa cada señal remota y local. Cuando la nueva planta esté en su funcionamiento normal, podremos obtener los valores reales del nivel, de la presión, del pH y de conductividad del agua.

Esto beneficiará a la empresa, ya que la nueva planta de tratamiento de agua contara con su propio sistema SCADA y los operadores podrán revisar si el agua utilizada cumple con la demanda que se necesita para la unidad de caldera. Mediante la revisión del Sistema

SCADA, se podrán programar mantenimientos predictivos en la planta y así evitar fugas y disparos que afecten el rendimiento de la planta.

III. MARCO TEÓRICO

3.1 CALDERAS

Las calderas son máquinas que trabajan a presión por medio de la transferencia de calor constante, en la cual los líquidos calientan y cambian de estado. "La caldera es todo aparato a presión en donde el calor procedente de cualquier fuente de energía se transforma en utilizable, en forma de calorías, a través de un medio de transporte en fase líquida o vapor" (Lutech, 2009).

Dada su función principal de generar vapor son muy importantes en todo tipo de industria, ya sean petroleras, químicas, alimenticias y muchas otras.

Alba G., Martínez S., & Sandoval C. (1999) afirman que:

Actualmente el proceso industrial de la generación de vapor ha crecido enormemente, no sólo cuando el vapor se usa para la generación de la energía eléctrica, sino cuando se emplea con otros fines como sucede en las industrias papelera, azucarera, química, textil, farmacéutica, etcétera. (p. 9)

La caldera es el elemento fundamental en una central termoeléctrica, ya que se genera electricidad a través de un ciclo Rankine y es en ella donde se produce la combustión del carbón o gas.

3.1.1 CLASIFICACIÓN DE LAS CALDERAS

Los generadores de vapor existen en distintos modelos, derivándose de su finalidad. Se pueden clasificar basándose en características como uso, materiales, tamaño, forma y posición

de los tubos, presión de trabajo, clase de combustible y muchas otras. En la tabla 1 podremos observar la ancha gama de la clasificación de las calderas.

Tabla 1. Clasificación de calderas en la industria

SEGÚN	A	B	C	D	E
LA DISPOSICIÓN DE LOS FLUIDOS	CALDERAS DE TUBOS DE AGUA (ACUOTUBULARES)	CALDERAS DE TUBOS DE HUMO (PIROTUBULARES)			
LA TRANSMISIÓN DEL CALOR	CALDERAS DE CONVECCIÓN	CALDERAS DE RADIACIÓN	CALDERAS DE RADIACIÓN Y CONVECCIÓN		
EL COMBUSTIBLE UTILIZADO	CALDERAS DE CARBÓN (PARRILLA MECÁNICA O CARBÓN PULVERIZADO)	CALDERAS DE COMBUSTIBLES LÍQUIDOS	CALDERAS DE COMBUSTIBLES GASEOSOS	CALDERAS PARA COMBUSTIBLES ESPECIALES (LICOR NEGRO, BAGAZO, DESPERDICIOS DE MADERAS, COMBUSTIBLES VEGETALES, ETCÉTERA).	CALDERAS DE RECUPERACIÓN DE CALOR DE GASES (CON O SIN COMBUSTIBLE ADICIONAL).
EL TIRO	CALDERAS DE HOGAR PRESURIZADO	CALDERAS DE HOGAR EQUILIBRADO			
EL SISTEMA DE APOYO EMPLEADO	CALDERAS APOYADAS	CALDERAS SUSPENDIDAS			
SEGÚN SU IMPLANTACIÓN	CALDERAS TERRESTRES.	CALDERAS MARINAS			
SU UBICACIÓN	CALDERAS DE INTERIOR	CALDERAS PROTEGIDAS CONTRA INTEMPERIE			
SU OPERACIÓN	CALDERAS AUTOMÁTICAS	CALDERAS SEMIAUTOMÁTICAS (AUTOMÁTICAS DE ENCENDIDO MANUAL).	CALDERAS DE OPERACIÓN MANUAL		
CIRCULACIÓN DE LOS FLUIDOS	CALDERAS DE CIRCULACIÓN NATURAL.	CALDERAS DE CIRCULACIÓN ASISTIDA.	CALDERAS DE CIRCULACIÓN FORZADA.		
PRESIÓN DE TRABAJO	DE BAJA PRESIÓN: $P \leq 20 \text{ KGF/CM}^2$	DE MEDIA PRESIÓN: $20 \leq P < 64 \text{ KGF/CM}^2$	DE ALTA PRESIÓN: $P \geq 64 \text{ KGF/CM}^2$		
SISTEMA DE VAPORIZACIÓN	CALDERAS DE VAPORIZACIÓN LENTA.	CALDERAS DE VAPORIZACIÓN RÁPIDA.			
SU USO	CALDERAS FIJAS.	CALDERAS MÓVILES.			
LAS FUENTES DE CALOR	CALDERAS PARA COMBUSTIBLES (SÓLIDOS, LÍQUIDOS, GASEOSOS).	CALDERAS MIXTAS.	CALDERAS DE RECUPERACIÓN DE CALOR.	CALDERAS ELÉCTRICAS.	
LA FORMA EN QUE FLUYAN LOS GASES DE LA COMBUSTIÓN	CALDERAS DE PASO DIRECTO.	CALDERAS DE RETORNO			
MEDIO DE TRANSPORTE DE CALOR	CALDERAS DE VAPOR	CALDERAS DE AGUA CALIENTE	CALDERAS DE AGUA SOBRECALENTADA	CALDERAS DE FLUIDO TÉRMICO	

Fuente: página oficial de SERVITEC

Borroto Nordelo & Rubio González (2010) rectifican que los generadores de vapor pueden ser clasificados por diversos criterios relacionados con sus parámetros y sus características constructivas y de operación.

Las calderas de vapor se clasifican, atendiendo a la posición relativa de los gases calientes y del agua en acuotubulares y piro tubulares.

- Calderas piro tubulares. Son generadores de vapor pequeños. En ellos los gases calientes circulan por dentro de los tubos, mientras que el agua está por fuera.



Ilustración 1. Esquema de caldera piro tubular

Fuente: (portalelectromecanico.com)

- Calderas acuotubulares. Son generadores de vapor mediano y grande. En ellos el agua circula por dentro de los tubos mientras que los gases están por fuera (Severns, 1982).

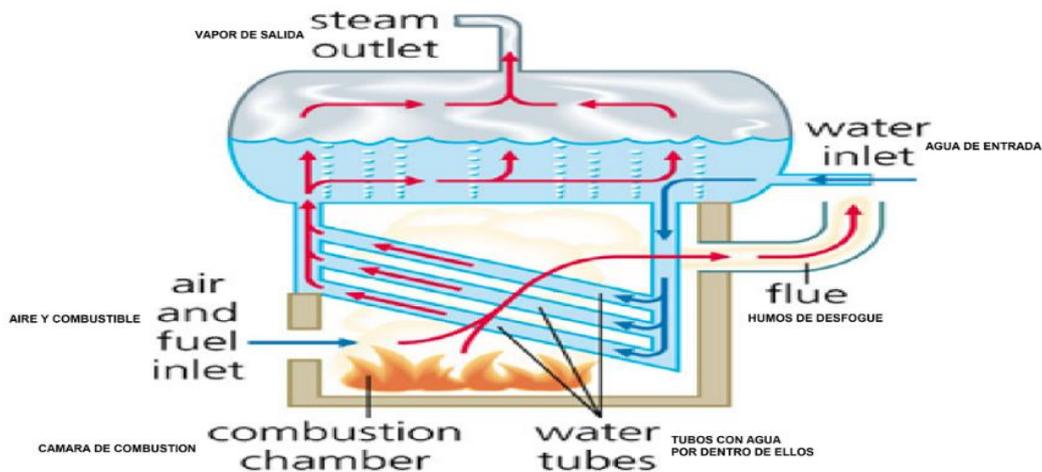


Ilustración 2. Esquema de caldera acuotubular

Fuente: (portalelectromecanico.com)

3.1.2 CALDERAS DE LECHO FLUIDIZADO CIRCULANTE

La caldera utilizada en la planta de BECO S.A. de C.V. es del tipo Lecho Fluidizado Circulante lo que permite quemar combustibles de alto poder calorífico, como el carbón y en especial

los de difícil combustión, tales como el pet coke o coque de petróleo. Su objetivo principal es controlar mucho mejor las emisiones de óxidos de Sulfuro (SOx) y óxidos de nitrógeno (NOx). La caldera fue suministrada por la empresa ISGEC de la India con licencia de Foster Wheeler, MCR 142 TPH, 110 kg/cm², 540 grados centígrados.

Rajaram (1999) indica que:

La caldera CFBC puede utilizar todos los grados de carbón y lignitos de manera eficiente y ecológicamente limpia. Su desarrollo se inició a mediados de la década de 1970 y se instalaron varias calderas CFBC en todo el mundo. Se espera que la generación futura de energía a partir de carbón sea de plantas de ciclo combinado de gasificación integrada basadas en la combustión en lecho fluidizado circulante y la gasificación.



Ilustración 3. Caldera de lecho fluidizado

Fuente: página oficial de HDB España

3.1.3 COMBUSTIÓN

“Un proceso de combustión es una reacción química de oxidación muy rápida acompañada de un flujo de calor exotérmico grande y de un flujo de sustancias que desaparecen, los reactivos, y de sustancias que aparecen, los productos de las sustancias” (Sánchez Naranjo, 2011).

En una central termoeléctrica, la combustión se da en la caldera de lecho fluidizado, con la característica que es a baja temperatura, por lo que la emisión de óxidos de nitrógeno es más baja que en una caldera convencional.

La tecnología de lecho fluidizado ofrece la ventaja de reducir las emisiones de NOx y SOx permitiendo controlar la temperatura del lecho y empleando reactivos como la roca caliza como material del lecho. Los beneficios adicionales incluyen la capacidad de usar combustibles como la biomasa y los combustibles residuales, que son difíciles de quemar en sistemas de calderas convencionales. (Babcock & Wilcox, 2015)

3.1.4 CICLO RANKINE

El ciclo Rankine es un ciclo que opera con vapor, y es el que se utiliza en las centrales termoeléctricas. El ciclo Rankine está formado por cuatro procesos los cuales se describen a continuación y se muestran en la ilustración 4:

- Proceso 1-2: Agua a baja presión y temperatura es bombeada desde el condensador hacia el generador de vapor que se encuentra a alta presión. Este proceso se considera en la mayoría de los análisis isoentrópico.
- Proceso 2-3: El agua cambia de fase líquida a vapor en el generador de vapor mediante la adición de calor. El vapor que abandona este proceso puede ser húmedo, seco o sobrecalentado.

- Proceso 3-4: El vapor entra en la turbina, se expande y se produce una cierta cantidad de trabajo. Este proceso es considerado isoentrópico en un ciclo Rankine ideal. Sin embargo, en la realidad no ocurre de esta forma.
- Proceso 4-1: El vapor rechaza calor hacia el medio ambiente en el condensador en donde se vuelve líquido. (Jiménez Bernal & Gutiérrez Torres, 2014, p. 163)

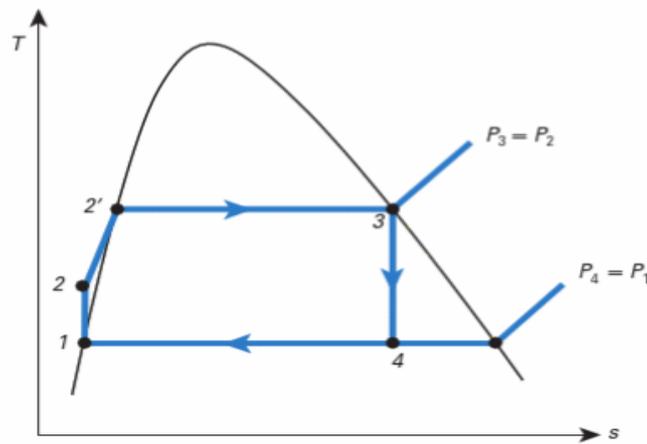


Ilustración 4. Diagrama T-s de un ciclo Rankine

Fuente: (Jiménez Bernal & Gutiérrez Torres, 2014)

La siguiente ilustración nos muestra el proceso del ciclo Rankine en una planta de generación de potencia mediante vapor, es el ciclo más importante en una central generadora eléctrica.

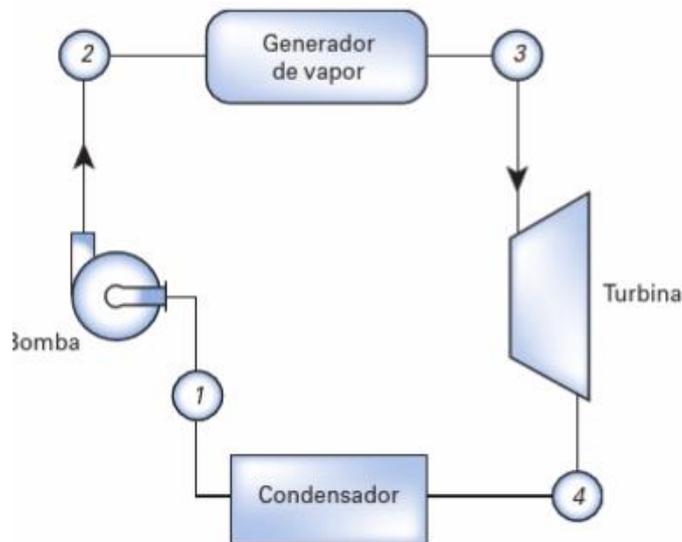


Ilustración 5. Esquema básico de una planta de generación de potencia mediante vapor

Fuente: (Jiménez Bernal & Gutiérrez Torres, 2014)

3.2 AGUA DE ALIMENTACIÓN DE CALDERAS

El agua absorbe más calor a una determinada temperatura que cualquier otra sustancia inorgánica. Se expande 1,600 veces a medida que se evapora para formar vapor a presión atmosférica. El vapor es capaz de almacenar gran cantidad de calor. Estas propiedades únicas en el agua la convierten en la materia prima ideal para procesos de generación energía. (Lenntech, 2006)

El agua que proviene de una fuente natural presenta cierta cantidad de materia disuelta o suspendida, así como gases disueltos. Es por eso que se debe tomar un especial cuidado en el agua que se va a emplear para la generación de vapor, ya que las impurezas presentes pueden provocar daños graves en la caldera. (Lenntech, 2006)

Las impurezas que se encuentran con mayor frecuencia en los depósitos naturales de agua van a ser los sólidos en suspensión, líquidos inmiscibles como el aceite, bacterias y otros microorganismos, gases disueltos, sales minerales disueltas.

Es por eso que una central termoeléctrica cuenta con una planta de tratamiento de agua, para poder eliminar todas las impurezas antes de poder utilizarla en la caldera.

3.2.1. IMPUREZAS EN EL AGUA DE ALIMENTACIÓN

La mayoría de agua de alimentación que ingresa a la caldera contienen sólidos disueltos, y cuando esta agua se comienza a calentar y se está evaporando, el vapor que sale es destilado y comienza a depositar las impurezas atrás.

El barro y otros sólidos se depositan en el fondo de la caldera, formando un depósito fangoso que facilita el sobrecalentamiento de las planchas inferiores. Estos sobrecalentamientos provocan deformaciones que pueden ser altamente peligrosos.

Las sales de calcio y magnesio, disueltas en el agua con que se alimenta la caldera, se descomponen y se adhieren a las superficies más calientes de la caldera, especialmente en los tubos en forma de costras duras llamadas incrustaciones, lo que entorpece la transmisión del calor, permitiendo el sobrecalentamiento de estas superficies metálicas y posibles explosiones. (Bahamondes & Oswald, 2016, p. 4)

3.2.2. REQUERIMIENTOS DE AGUA DE ALIMENTACIÓN EN CALDERAS

Sobre la base de las recomendaciones de la Norma Británica BS – 2486, la ABMA (American Boiler Manufacturing Association) y el TÜV, se han preparado las siguientes tablas que muestran los requerimientos que deberá satisfacer el agua de alimentación y el agua de una caldera para prevenir incrustaciones y corrosión en calderas de baja presión (hasta 10 bar) (THERMAL ENGINEERING LTDA, 2007).

Tabla 2. Requerimientos agua de alimentación calderas vapor según BS 2486

PARÁMETRO	VALOR REQUERIDO
Dureza total	< 2 ppm
Contenido de oxígeno	< 8 ppb
Dióxido de carbono	< 25 mg/l
Contenido total de hierro	< 0,05 mg/l
Contenido total de cobre	< 0,01 mg/l
Alcalinidad total	< 25 ppm
Contenido de aceite	< 1 mg/l
pH a 25 °C	8.5 – 9.5
Condición general	Incoloro, claro y libre de agentes insolubles.

Fuente: (THERMAL ENGINEERING LTDA, 2007)

Tabla 3. Requerimientos agua de caldera según BS 2486

PARÁMETRO	VALOR RECOMENDADO
pH a 25 °C	10.5 - 11,8
Alcalinidad Total CaCO ₃	< 700 ppm
Alcalinidad Cáustica	> 350 ppm
Secuestrantes de Oxígeno:	
☐ Sulfito de Sodio	30 – 70 ppm
☐ Hidrazina	0.1 – 10 ppm
☐ Taninos	120 – 180 ppm
☐ Dietilhidroxilamina	0.1 – 1.0 ppm (en agua alimentación)
Fosfato Na ₃ PO ₄	30 - 60 mg/l
Hierro	< 3.0 ppm
Sílice	150 ppm
Sólidos disueltos	< 3500 ppm
Sólidos en suspensión	< 200 ppm
Conductividad	< 7000 uS/cm
Condición general	Incoloro, claro y libre de agentes insolubles.

Fuente: (THERMAL ENGINEERING LTDA, 2007)

3.3 PROCESO DEL TRATAMIENTO DEL AGUA

El proceso del tratamiento de agua de una caldera generadora de vapor, es fundamental para asegurar la vida útil de ella y así evitar problemas operacionales, reparaciones de importancia

y todo tipo de accidentes. El objetivo principal del tratamiento del agua es prevenir las corrosiones e incrustaciones dentro de la caldera, asegurando la calidad del agua de alimentación y del agua contenida en la caldera.

El tratamiento de agua para calderas comprende la prevención contra la corrosión y las incrustaciones; el tipo y control del tratamiento químico; métodos adecuados, seguros y aceptables para regular las purgas de la caldera; precalentamiento y pretratamiento del agua cruda, etcétera. (Alba G. et al., 1999)

BECO S.A. de C.V. cuenta con una planta de tratamiento de agua, compuesta por muchos procesos que se detallaran a continuación.

3.3.1 CLARIFICACIÓN DEL AGUA

La clarificación del agua es el primer proceso que ocurre durante el tratamiento del agua. Este proceso tiene la finalidad de remover la turbiedad y el color en el agua, utilizando coagulantes o poli electrólitos. "La clarificación del agua tiene por objeto retirar los sólidos suspendidos, sólidos finamente divididos y materiales coloidales, convirtiéndolos en partículas más grandes que se pueden remover con mayor facilidad" (FLÓREZ, 2011).

El agua cruda, que es traída de unos pozos por medio de bombas, es depositada en los tanques y luego pasa por el proceso de clarificación. El tratamiento se vuelve muy necesario cuando las condiciones del agua no son las ideales, y brinda resultados positivos para el siguiente proceso.

3.3.2 FILTRO DE AGUA MULTIGRADO DE ARENA

El siguiente proceso que el agua atraviesa es el del filtro multigrado de arena. Este filtro tiene la función de remover material suspendido que causa la turbidez del agua. La misma que es

causada por polvo, oxido, tierra, etcétera. En la ilustración 6 podemos ver una combinación de filtros de agua multigrado.

En un filtro multigrado, el agua se pasa a través de varias capas de medios de filtro que consisten en capas de arena, guijarros y grava graduadas. Los contaminantes en el agua se capturan en el lecho de medios y el agua filtrada pasa al colector de descarga en el fondo de los tanques. El siguiente y último paso es el lavado a contracorriente, un proceso de eliminación efectiva de los contaminantes capturados de la cama de medios. (BIONICS ADVANCED FILTRATION SYSTEMS (P) LTD., 2013)



Ilustración 6. Filtros multigrados juntos

Fuente: página oficial de BIONICS

3.3.3 ULTRAFILTRACIÓN

Díaz & Cardona (2013) nos definen que:

La ultrafiltración es el proceso en el cual se utiliza una membrana semipermeable, donde la presión activada del proceso es capaz de fraccionar, separar y concentrar sustancias sin que estas sufran cambios de fase, a través de membranas semipermeables que permiten una mejor separación del líquido. (p. 50)

Del texto anterior podemos definir que la ultrafiltración tiene como función principal separar esas sustancias que durante la clarificación y el filtro de multigrado no se pudieron. Este proceso no es químico ni biológico, sino por filtración a través de las membranas, obteniendo aguas libres de microorganismos. Este proceso es usado en diversas industrias, ya que es muy versátil y eficaz como tratamiento de agua de alta pureza.

3.3.4 OSMOSIS INVERSA

La osmosis inversa es un proceso de purificación de agua en donde se utiliza una membrana semipermeable, igual al de la ultrafiltración, para eliminar iones, sales disueltas, moléculas que posee el agua. Es el proceso más usado y efectivo para obtener agua pura. "La osmosis inversa permite remover la mayoría de los sólidos (inorgánicos u orgánicos) disueltos (hasta el 99%) así como los materiales suspendidos y microorganismos, proporcionando un agua segura, pura" (Tran Khac & Misa Llorca, 2010).

Pero antes de que el agua llegue al proceso de osmosis inversa, esta pasa por una serie de dosificaciones:

- Dosificación de Acido: para la regulación de pH.
- Dosificación Antiescalante: para evitar que las membranas de la osmosis inversa se escalen.
- Dosificación SMBS: se dosifica Disulfito de Sodio para la reducción del cloro libre.

Luego de pasar por estas tres dosificaciones pasa por un filtro de cartucho, que tiene como finalidad remover las partículas muy finas. Al pasar por este filtro, por medio de una bomba de alta presión, es llevada hacia lo que es el proceso de la osmosis inversa.

3.3.6 TANQUE DE LECHO MIXTO

Este equipo es considerado el más importante y crítico en el tratamiento del agua, debido a que este tanque es el que da las condiciones para obtener el agua desmineralizada, que es el agua que se utiliza en las calderas. Si el agua desmineralizada no cumple con los parámetros establecidos antes de ingresar a la caldera, se necesita hacer un lavado de dicho tanque.

Las unidades de lechos mixtos son equipos que utilizan resinas de intercambio iónico catiónica y aniónica mezcladas en un mismo recipiente. Estas unidades producen un agua de máxima calidad, con una conductividad de salida de alrededor de 0,1 uS/cm, y residuales de sílice de algunas pocas ppb (partes por billón).

3.3.7 AGUA DESMINERALIZADA

El agua desmineralizada es el agua a la cual se le quitaron casi todos los minerales y sales, y es utilizada cuando se requiere agua con bajo contenido en sal y en conductividad. Es por eso que esta agua es utilizada dentro de la caldera, debido a que el agua de alimentación es muy delicada. El agua desmineralizada es de constante revisión para ver si se están cumpliendo todos los parámetros exigidos por la caldera y si es suficiente la demanda de agua que se necesita.

Características más importantes del agua desmineralizada:

Color: incolora

Olor: inodora

PH: de 6.8 a 7.2 (neutro)

Conductividad: de 0 a 2 μ s (Micro siemens)

(Hernández Hernández, Méndez Bustabad, & Riera González, 2010, p. 6)

3.4 SISTEMA SCADA

Un sistema SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) es el conjunto de software y hardware utilizado para poder comunicar, supervisar y controlar múltiples procesos dentro de una planta. Con el SCADA dentro de la planta de tratamiento de agua, se pueden observar y controlar datos de temperatura, conductividad, flujo, nivel de agua, presión, pH, entre otros.

Rodríguez Penin (2007) nos indica:

Damos el nombre de SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition o Control con Supervisión y Adquisición de Datos) a cualquier software que permita el acceso a datos remotos de un proceso y permita, utilizando las herramientas de comunicación necesarias en cada caso, el control del mismo.

No se trata de un sistema de control, sino de una utilidad software de monitorización o supervisión, que realiza la tarea de interface entre los niveles de control (PLC) y los de gestión, a un nivel superior. (p. 19)

El sistema SCADA es muy utilizado en la automatización industrial, ya que permite a los ingenieros de cualquier empresa llevar un control y supervisión de todos los instrumentos en tiempo real. Esto hace más fácil la detección de fallas, ya que es posible programar alarmas y disparos si en todo caso el proceso llegara a fallar, y así poder corregir estos posibles problemas. "Las alarmas se basan en la vigilancia de los parámetros de las variables del sistema. Son los sucesos no deseables, porque su aparición puede dar lugar a problemas de funcionamiento" (Rodríguez Penin, 2007, p. 54).

3.4.1 FUNCIONES DE UN SISTEMA SCADA

Con la ayuda de un sistema SCADA se puede hacer tanto la supervisión como la adquisición de datos de un determinado proceso. Se busca aprovechar la enorme flexibilidad de sus funciones, ya que puede ser muy amigable a la hora de controlar y monitorear los procesos de la planta.

Un sistema de supervisión y control nos facilita innumerables labores dentro del control automático de procesos. Dentro de sus funciones habituales podemos destacar:

- Adquisición de datos: se encargan del acopio, procesamiento y almacenaje de la información del proceso a controlar.
- Supervisión: consiguen la representación en equipos o pantallas de la evolución de las variables de control.
- Control: permite la modificación de consigna de las variables del proceso, logrando modificar la evolución del proceso.
- Transmisión: permite la intercomunicación de los distintos equipos de campo que conforman el sistema a controlar.
- Bases de datos: tras el proceso de adquisición de datos, estos sistemas permiten la gestión y procesamiento de estos. Suelen utilizarse sistemas de acceso a bases de datos estándar, tales como ODBC (Open DataBase Connectivity).
- Presentación: la representación gráfica en equipos interactivos de diagramas y esquemas del proceso y la utilización de equipos HMI (Human Machine Interface) son elementos comunes de los sistemas SCADA.
- Explotación: la gran cantidad de datos registrados nos aporta una gran riqueza de información susceptible de ser tratada estadísticamente para mejorar el proceso productivo. (Alonso, 2013)



Ilustración 9. Funciones de un sistema SCADA

Fuente: página oficial de Universidad de Oviedo

3.4.2 PARTES DE UN SISTEMA SCADA

Como todo sistema, este cuenta con sus partes esenciales y que son utilizadas en casi todos los sistemas SCADA de diferentes marcas. Sin estas partes el sistema presentaría fallas y no trabajaría bien, estas partes son:

- Interfaz Hombre-Máquina. Son los dispositivos finales de comunicación y visualización con los que debe interactuar el operario de planta (pantallas, botoneras, etc.).
- Unidad Central (MTU). (Master Terminal Unit) será el equipo encargado de realizar las operaciones programadas de supervisión y control en función de las variables medidas y consignas aportadas. Es la unidad maestra que controla al resto de unidades esclavo. En esta unidad también se almacena la información (bases de datos), de modo que otras aplicaciones tengan acceso a los mismos.
- Unidades Remotas (RTUs). (Remote Terminal Unit) Son todas aquellas unidades, PCs o dispositivos que envían información a la unidad central y que se encuentran alejadas del centro de control. Estos dispositivos se encargan de recopilar los datos de los elementos de campo y enviarlos a la Unidad Central.

- Sistema de Comunicaciones. Son los equipos encargados de transferir la información y los datos entre los actuadores y sensores y la unidad central, que es el punto donde se supervisa y controla el proceso. Está formado por medios de comunicación, transmisores y receptores.
- Transductores. Serán los elementos que transformarán señales físicas o químicas en señales eléctricas. (Alonso, 2013)

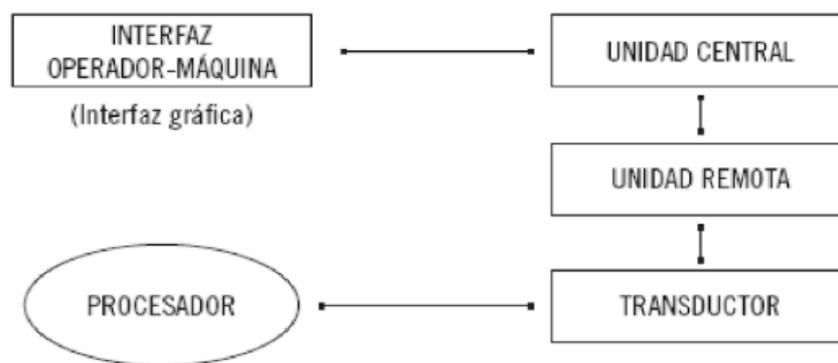


Ilustración 10. Esquema de interconexión en un sistema SCADA

Fuente: (Alonso, 2013)

3.4.3 SOFTWARE DE SISTEMA SCADA

Las utilidades de un sistema SCADA aumentan considerablemente al utilizar el software adecuado, aunque sean de distintas marcas, pero la comunicación es prácticamente la misma.

Su software debe presentar las siguientes funciones:

- Manejo del soporte o canal de comunicación.
- Manejo de uno o varios protocolos de comunicación (driver).
- Manejo y actualización de una base de datos.

- Administración de alarmas (eventos).
- Generación de archivos históricos.
- Interfaces con el operador (HMI - Human Machine Interface).
- Capacidad de programación (Visual Basic, C).
- Transferencia dinámica de datos (DDE).
- Conexión a redes.
- Debe tener capacidad para comunicarse con múltiples redes de instrumentos, aun siendo de distinta procedencia y fabricantes (Standard IEC 1131.3). (Gómez Sarduy, Reyes Calvo, & Guzmán del Río, 2005)

Normalmente cada fabricante de PLC tiene su propio software de SCADA, de los cuales los más comunes están en la siguiente tabla:

Tabla 4. Software SCADA más comunes

Software scada más comunes	
Software Scada	Desarrollador
WinCC	Siemens
SCADA/HMI software	ABB
RsView 32	Allen Bradley
SYSMAC SCS	Omron
Scada InTouch	LOGITEK
LabView	National Instruments
Monitor Pro	Schneider Electric

Fuente: (Alonso, 2013)

3.5 INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL

La instrumentación es algo esencial en la mayoría de industrias, investigaciones e incluso dentro de la vida diaria de una persona. La instrumentación tiene la función de medir,

transmitir, controlar o registrar variables de los procesos dentro de una planta, optimizando siempre los recursos tratados. García Gutiérrez (2014) nos define: "Instrumentación es la ciencia de la medida y del control. Las aplicaciones de esta ciencia abundan en la industria, la investigación, y la vida diaria" (p. 10).

Esta ciencia necesita de dispositivos para lograr medir y controlar todo tipo de magnitud, es por ello que existen transmisores y sensores que mandan una señal del valor registrado hacia un dispositivo de control, como ser el PLC, y este lo demuestra en una pantalla determinando si el valor registrado es correcto o incorrecto.

Para medir la magnitud en la que estamos interesados, es evidente que se necesita un dispositivo de medida que detecte esa magnitud y genere una señal que la represente y la transmita a un dispositivo de indicación o control, donde tiene lugar una acción humana o automatizada. Si la acción de control es automatizada, el dispositivo de control envía una señal a un dispositivo final de control que influye sobre la magnitud medida. (García Gutiérrez, 2014)

En una planta de tratamiento de agua se utilizan muchos instrumentos, cada uno con una magnitud diferente, para poder tener todos los valores de la planta en óptimas condiciones. A continuación se detallaran los instrumentos utilizados danto de la planta de tratamiento de agua.

3.5.1 INDICADORES E INTERRUPTORES DE PRESIÓN

"La presión es una fuerza por unidad de superficie y puede expresarse en unidades tales como pascal, bar, atmósferas, kilogramos por centímetro cuadrado y psi (libras por pulgada cuadrada)" (Creus Solé, 2005). Como su nombre lo indica, estos indicadores se utilizan para indicar y medir la presión de fluidos o gases.

En la planta se trabajan con manómetros, su medida en kilogramos por centímetro cuadrado, que es un instrumento de medida de presión en fluidos en circuitos cerrados. Estos trabajan con la presión manométrica, que es la diferencia entre la presión absoluta y la presión atmosférica.

La presión manométrica es la unidad de presión que encontramos en el trabajo cotidiano, por ejemplo, los valores nominales de presión de los neumáticos de los vehículos aparecen en presión manométrica. Un dispositivo de presión manométrica indicará "presión cero" cuando se purgue de aire hasta la presión atmosférica, es decir, la presión manométrica está referenciada con la presión atmosférica. (García Gutiérrez, 2014, p. 13)



Ilustración 11. Manómetro Instrutek

Fuente: página oficial de Instrutek

Un presostato, o un interruptor de presión, es un aparato que cierra un contacto eléctrico cuando un cierto valor predeterminado de presión es alcanzado. Este valor dependerá si la presión sube o la presión baja, evitando posibles problemas.

3.5.2 TRANSMISORES DE PRESIÓN DIFERENCIAL

Dentro de la industria existen diferentes transmisores de presión, pero el más usado habitualmente es el transmisor de presión diferencial. Este equipo detecta la diferencia de

presión entre dos puertos y produce una señal de salida con referencia a un rango de presión calibrado. Es obligatorio que sobre el sensor actúen dos diferentes presiones para poder determinar la diferencia entre los dos niveles de presión. La salida se muestra en el rango de 4-20 mA o el de 0-10 V.



Ilustración 12. Transmisor de presión diferencial Rosemount

Fuente: página oficial de Emerson

3.5.3 INDICADORES E INTERRUPTORES DE NIVEL

Estos tipos de sensores son usados para medir el nivel de líquidos dentro de un recipiente o tanque. Estos tienen un dispositivo flotador que puede flotar ya sea en fluidos de densidad alta o baja. "Los instrumentos de flotador consisten en un flotador situado en el seno del líquido y conectado al exterior del tanque indicando directamente el nivel. La conexión puede ser directa, magnética o hidráulica" (Creus Solé, 2005, p. 196).

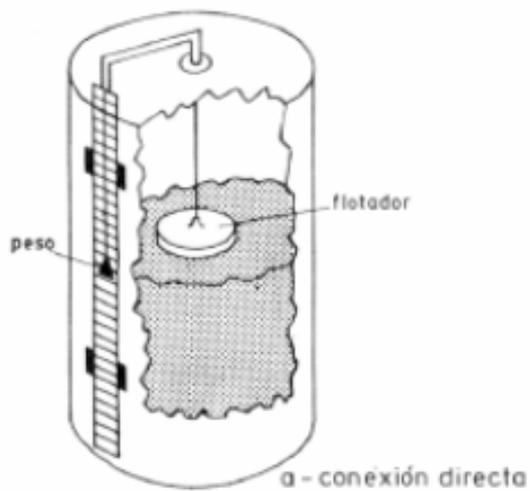


Ilustración 13. Indicador de nivel con flotador

Fuente: (Creus Solé, 2005)

Un interruptor de nivel es un dispositivo instalado en un recipiente o tanque lleno de sólidos o líquidos, que permite verificar si el nivel almacenado alcanza o excede un nivel predeterminado. Si esto pasa, el interruptor se cierra y evita que el tanque se siga llenando hasta que el nivel se reduzca. Estos trabajan con un flotador, que con el movimiento de este se abre o se cierra el contacto.



Ilustración 14. Interruptor de nivel con flotador

Fuente: página oficial de NIVELCO

3.5.4 TRANSMISORES DE NIVEL

Los transmisores de medición de nivel son parte importante del control de proceso en muchas industrias. En BECO S.A. se usan los transmisores de nivel ultrasónicos, ya que la medición de nivel es de manera continua y no se realiza contacto con el líquido. Estos miden el nivel de fluido mediante una onda que emiten y producen una salida en corriente de 4-20 mA.



Ilustración 15. Transmisor de nivel ultrasónico Siemens

Fuente: página oficial de Siemens

3.5.5 ROTÁMETROS

Es un instrumento para medir caudales de líquidos y gases que trabajan con presión constante. Es poco usado, pero es de gran aporte para realizar un trabajo más preciso. Consiste en un tubo y un flotador, donde la respuesta del flotador a los cambios del caudal es lineal.

La operación del rotámetro se basa en el principio de área variable. El flujo del fluido hace que se eleve el flotador en el tubo, lo que aumenta el área para el paso del fluido. Mientras mayor sea el flujo, más alto se eleva el flotador.



Ilustración 16. Rotámetros de marca Malema

Fuente: página oficial de Malema

3.5.6 TIPOS DE ANALIZADORES

En la planta de tratamiento de agua, se utilizan sensores para medir varias magnitudes del agua como ser el pH, la turbidez y la conductividad. De los cuales estos tres tienen su propio analizador y se describirán a continuación.

Analizador de pH: Este instrumento es de uso común en plantas que utilicen agua u otro tipo de soluciones acuosas. Estos analizadores se usan para establecer la cantidad de iones de hidrógeno en una disolución y su función es medir la cantidad de acidez o alcalinidad que contiene un líquido. En la planta de tratamiento de agua se utiliza para medir el pH del agua cruda que entra al proceso de clarificación, del agua que sale del tanque de ultrafiltración y del agua que llega a los tanques de agua desmineralizada.



Ilustración 17. Analizador de pH Yokogawa

Fuente: página oficial de Yokogawa

Analizador de Turbidez: Este instrumento, como su nombre lo indica, mide la turbidez del agua. Esta propiedad del agua es considerada una buena medida de calidad de agua. “La turbidez es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión. Cuantos más sólidos en suspensión haya en el agua, más sucia parecerá ésta y más alta será la turbidez” (Lenntech, 2006). La medición de la turbidez es esencial para garantizar la calidad del agua de alimentación de la caldera. Este se utiliza para ver la turbidez del agua antes de entrar al proceso de clarificación del agua.



Ilustración 18. Analizador de turbidez HACH

Fuente: página oficial de HACH

Analizador de Conductividad: “La conductividad de una sustancia se define como: la habilidad o poder de conducir o transmitir calor, electricidad o sonido” (Lenntech, 2006). Este analizador esta puesto antes de entrar al proceso de osmosis inversa, para determinar si el agua aún sigue siendo conductora de electricidad. El agua necesita estar libre de iones para poder desmineralizarla.

Lenntech (2006) afirma: “El agua pura no es un buen conductor de la electricidad. Debido a que la corriente eléctrica se transporta por medio de iones en solución, la conductividad aumenta cuando aumenta la concentración de iones. De tal manera, que la conductividad disminuye cuando el agua disuelve compuestos iónicos”



Ilustración 19. Analizador de conductividad Yokogawa

Fuente: página oficial de Yokogawa

3.5.7 TRANSMISORES ELECTROMAGNÉTICOS Y SWITCHES DE FLUJO

Un flujometro es un instrumento que se usa para medir el caudal lineal, no lineal, de masa o volumétrico de un líquido o gas. El transmisor de flujo convierte la salida de pulsos en una salida analógica de 4 a 20 mA. Los transmisores se basan en la Ley de Faraday la cual expresa que al pasar un fluido conductivo a través de un campo magnético, se produce una fuerza electromagnética (F.E.M.), directamente proporcional a la velocidad del mismo, de donde se puede deducir también el caudal.



Ilustración 20. Transmisor de flujo Endress-Hauser

Fuente: página oficial de Endress-Hauser

Un switch de flujo es un instrumento que sirve para indicar a una bomba o grupo de presión que se encienda o apague ante una demanda de presión, garantizando que esta sea constante. Estos switches determinan si el flujo está por encima o por debajo del valor predeterminado, y así determinar si dejan pasar el flujo o no.

3.5.8 CONTROLES DE TEMPERATURA

Como bien lo indica su nombre, los controladores de temperatura son unos instrumentos que en la actualidad son utilizados para poder regular el estado térmico dentro de algún proceso en el cual el clima sea un factor primordial para el resultado exitoso de un proceso industrial. (JM Industrial, 2019, p. 1)

Los controles de temperatura vienen acompañados de dos instrumentos que se complementan uno con el otro. Uno de ellos es el sensor de temperatura que mide la temperatura actual del proceso y el otro el actuador para para activar un instrumento el cual influye directamente en la temperatura del proceso (válvulas, resistencias, etc.)

3.6 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE

Un controlador lógico programable es un dispositivo electrónico muy utilizado en la automatización industrial. Este controla toda la lógica del funcionamiento de los procesos de máquinas y plantas, ya que procesan y reciben las señales digitales y analógicas de los procesos.

Un PLC permite controlar un proceso o realizar una secuencia de acciones de manera automática a partir de un programa definido por el usuario. Esto lo realiza ejecutando en forma cíclica una secuencia de instrucciones que, a partir de la información que llega a sus entradas desde los sensores, deciden cuándo conmutar sus salidas, donde se encuentran conectados los actuadores. (Daneri, 2008, p. 89)

3.6.1 COMPONENTES DE UN PLC

Un Controlador Lógico Programable se compone de las siguientes partes:

- Una unidad de entrada, a través de la cual el autómata programable recibe las señales (digitales o analógicas) de los captadores presentes en el proceso industrial.
- Una unidad de salida, a través de la cual el autómata programable transmite al proceso industrial las variables de salida (digitales o analógicas) que lo controlan.
- Una unidad central de proceso o CPU, que es la encargada de efectuar las operaciones lógicas especificadas en el programa de control mediante un microprocesador. Está dotada de un generador de impulsos, un contador síncrono, una memoria de acceso aleatorio no volátil (ROM, EPROM, E 2 PROM, etc.), un circuito combinacional que genera las señales de control, una unidad lógica y un biestable que memoriza el resultado o resultados parciales.

- Una fuente de alimentación que se selecciona en función de la configuración a adoptar por el PLC y que es capaz de manejar las tensiones típicas en ambientes industriales.
- Una unidad de programación externa, que permite cargar y descargar programas. En un principio estas unidades de programación eran propias de cada fabricante, en la actualidad es común utilizar un computador personal como unidad de programación.
- Módulos especiales o periféricos externos. Existe una gran variedad módulos conectables al PLC para operaciones específicas, tales como monitores de interfaz con el usuario o paneles HMI (Human Machine Interface), lectores de recorrido, contadores rápidos, controladores de motores, dosificadores, controladores de ejes de posicionamiento continuo, módulos de control de sistemas continuos (PID), etc. (Barrientos. A. & Gambao, 2014, p. 109)

En la siguiente ilustración podremos observar cómo están conectados los componentes de un PLC entre sí. La unidad central de proceso es la más importante, ya que es el cerebro de nuestro controlador, por ende, es ahí donde se procesa toda la información y se cumplen todos los comandos programados por el usuario.



Ilustración 21. Componentes básicos de un PLC

Fuente: (Barrientos. A. & Gambao, 2014)

3.6.2 ENTRADAS Y SALIDAS DE UN PLC

Las entradas y salidas de un controlador lógico programable son las partes que lo vinculan con el campo. La función del PLC es adaptar las señales de los captadores para que puedan ser reconocidas por la unidad central de proceso en caso de ser una entrada, o activar un actuador por una orden del PLC si es una salida.

Daneri (2008) afirma que:

Debido a que no todas las señales de campo son iguales, existen interfaces de E/S para los tipos de señales eléctricas más comunes. Los canales de entrada o salida se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Digitales. También llamadas on/off o discretas, pueden tomar sólo dos estados, 0 y 1.
- Analógicos. Pueden tomar una cantidad de estados dentro de un cierto rango de tensión o corriente, por ejemplo, 4 a 20 mA, 0 a 20 mA, 0 a 10 V y -10 a 10 V).

- Especiales. Son variantes de los anteriores que se emplean en aplicaciones específicas, como por ejemplo el conteo de alta velocidad, etc. (p. 92)

IV. METODOLOGÍA

La metodología de investigación es muy importante en cualquier proceso de investigación o proyecto. Esta nos da la pauta de como los investigadores deciden el conjunto de técnicas y métodos para poder realizar la recolección de datos. La investigación nos sirve para encontrar soluciones a varios problemas mediante los resultados obtenidos en los procesos de estudio y análisis de otros investigadores. "Se define la investigación científica como una actividad encaminada a la solución de problemas. Su objetivo consiste en hallar respuestas a preguntas mediante el empleo de procesos científicos" (Baena Paz, 2014, p. 6).

El presente proyecto de tesis será una investigación científica aplicada en la planta de tratamiento de agua de la empresa BECO S.A. Con las tecnologías ya existentes, estas serán adaptadas a la nueva planta de agua con el fin de suplir la demanda de agua de las tres unidades de caldera.

4.1 HIPÓTESIS

Con el desarrollo del comisionamiento y puesta en marcha del sistema SCADA en la planta de tratamiento de agua de la unidad #3, se pretende suplir la demanda de agua de las tres unidades de caldera. Dicha planta también ayudará a la empresa cuando haya disparos o fugas, por diferentes motivos, ya que el nivel de los tanques se mantendrá en un buen nivel.

4.1.1 VARIABLES DEPENDIENTES

Las variables dependientes son aquellas que se investigan y se miden, cambian de acuerdo a la variable independiente. Las variables dependientes del proyecto son el tiempo de comisionamiento y puesta en marcha del sistema SCADA, y la demanda de agua.

4.1.2 VARIABLES INDEPENDIENTES

Las variables independientes son la que cambian o son controladas para estudiar los efectos en las variables dependientes. Las variables independientes serán la asignación del personal enfocado en el comisionamiento de la planta de tratamiento de agua, ya que solo el que este en turno diurno podrá estar ahí para apoyo, y la calibración de las señales.

4.2 MÉTODO Y ENFOQUE

En un proceso de investigación, el investigador debe de sustentar sus teorías en un método. El método es el camino lógico que se sigue para llegar a cumplir los objetivos u obtener algo. En el presente proyecto, se hizo uso del método científico por la flexibilidad y confiabilidad de este, ya que se usa las observaciones y mediciones experimentales.

En investigación científica o tecnológica, hay varias formas de atacar un problema, pero no todas son igualmente efectivas, siendo necesario la utilización de un método que permita obtener resultados eficientes en todos los casos. Ello no significa que con su aplicación se pueda resolver de forma satisfactoria el problema propuesto, pero al menos, el investigador estará seguro de no haber dejado de lado fases importantes del proceso investigador o haber efectuado experiencias innecesarias. Mediante el método, generalmente aplicado por la mayoría de los investigadores, e independiente del resultado positivo o negativo, se pretende llevar a término la investigación de manera eficiente con un mínimo de esfuerzo, tiempo y gasto. (Cegarra Sánchez, 2004, p. 95)

El enfoque nos da la visión clara y concisa de exactamente a que queremos llegar y como lo haremos. En el presente proyecto, se usaron los dos principales enfoques: el enfoque cualitativo y el enfoque cuantitativo.

El enfoque cualitativo está basado en datos no relacionados con ninguna medición que involucre números. Durante el proyecto, se utilizaron las observaciones de los supervisores y técnicos de instrumentación para aprender acerca de las calibraciones y posibles fallas de la planta.

El enfoque cuantitativo utiliza la recolección y análisis de datos de una forma numérica y cuantificable. Durante el proyecto, se utilizaron las tablas de calibración para poder saber si el instrumento se calibro de una manera adecuada cumpliendo con los parámetros establecidos.

4.3 FUENTES DE INFORMACIÓN

Para poder realizar una tesis de investigación se necesita una ardua tarea, ya que la información obtenida debe ser de fuentes correctas para que la investigación sea precisa y de la mejor calidad posible. Para eso se documenta de muchas fuentes de información diversas, siendo estas fuentes de información primarias o secundarias. Las fuentes primarias son materiales bibliográficos bien documentados y originales, mientras que las fuentes secundarias son análisis de las fuentes primarias y se crean lo que son reseñas donde se puede encontrar la información.

A continuación, se detallan las fuentes de información utilizadas:

Fuentes Primarias:

- Libros electrónicos recopiladas de la base de datos del CRAI.
- Libros físicos prestados del CRAI.

Fuentes Secundarias:

- Revistas científicas recopiladas de ProQuest.
- Manuales técnicos.
- Páginas webs de empresas que trabajan con calderas.
- Tesis de maestría referentes al tema.

4.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS

La principal técnica utilizada fue la observación directa, la cual consiste en observar el objeto de estudio para la recolección de datos. Dichos datos se fueron llenando en las diferentes tablas de calibración y así poder hacer el análisis posterior.

Sin embargo, también se utilizó la charla y entrevista con los técnicos y supervisores de instrumentación para poder conocer el funcionamiento de la planta de tratamiento de agua, así como las fallas que ocasionan los disparos y fugas en la planta. El método consistió en tomar nota de las principales funciones de los procesos de la planta y como se ve afectada la demanda de agua por las calderas.

Para poder realizar la calibración de los diferentes transmisores, se utilizó el comunicador de campo 475 HART, que prueba todos los parámetros establecidos del transmisor en la lógica del PLC.



Ilustración 22. Comunicador de campo 475 HART

Fuente: página oficial de Emerson

4.5 CRONOGRAMA

Tabla 5. Cronograma de actividades semanales

Actividad	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10
Inducción de Seguridad Industrial	■									
Recorrido por la Empresa	■									
Recorrido por la Planta de Tratamiento de Agua U1 Y U3	■									
Presentación del Proyecto		■								
Análisis y Lectura de Manuales		■	■							
Revisión de Instrumentación instalado en Planta de Tratamiento de Agua U3			■							
Revisión de Sistema SCADA en Planta de Tratamiento de Agua U1			■							
Análisis de Diagrama P&ID de la Planta			■	■	■					
Elaboración y Puesta de Etiquetas en Instrumentos				■	■					
Elaboración de Tabla de Calibración para Instrumentos					■					
Revisar conexiones en JBs y Paneles de DCS					■	■				
Charlas con Personal de Control de Calidad de Planta de Tratamiento de Agua						■	■			
Puesta de Pintura Epoxica en Piso de la Planta						■				
Instalación de Aire Acondicionado en cuarto de DCS y MCC							■			
Elaboración de Calibraciones de los Instrumentos								■	■	
Comisionamiento de Señales tanto Remota como Locales								■	■	
Flushing de Tuberías										■
Puesta en Marcha de Sistema SCADA										■

Fuente: Propia

V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

5.1 REVISIÓN GENERAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA UNIDAD #3

El proyecto tuvo una duración de 8 semanas, siendo asignado por los supervisores de instrumentación, que luego se detuvo por un tiempo indefinido por otras diligencias dentro de la empresa. Se obtuvo un alcance del 70% del proyecto, logrando la calibración de la mayoría de instrumentos y el comisionamiento de las señales analógicas y digitales.

Durante el desarrollo del proyecto, el departamento de obra civil procedió a pintar el piso de la planta con pintura epóxica, para evitar el polvo, y la instalación de aires acondicionados en los cuartos de DCS y MCC dentro de la planta de tratamiento de agua.

En general casi todos los instrumentos ya habían sido instalados y conectados en las cajas de conexiones (Junctions Boxes), siendo pocos los que faltaban por instalar. Se nos brindó el diagrama P&ID de la planta de tratamiento de agua de la unidad #3, para hacer verificaciones de los instrumentos instalados y faltantes.



Ilustración 23. Cajas de conexiones en la planta

Fuente: Propia

Al momento de hacer la inspección, se pudo notar que hacían falta 2 transmisores de flujo en las líneas del proceso de ultrafiltración, una tubería en el proceso de osmosis inversa y la línea de aire que viene de la planta de tratamiento de agua de la unidad #1. Se procedió a instalar los instrumentos que faltaban antes de empezar con las calibraciones.



Ilustración 24. Transmisores de flujo ya instalados

Fuente: Propia

5.2 DEMANDA DE AGUA

Para poder determinar la demanda de agua, flujo volumétrico, que tendrá la planta de tratamiento de agua de la unidad #3 fue necesario platicar con el personal de control de calidad de agua de la planta. Se nos comentó que la planta de tratamiento de agua de la

unidad #1 y #2, tiene una demanda de agua de 250 m³/h. Esta es medida con la ayuda de un transmisor de flujo que está instalado a la salida de los tanques de agua desmineralizada.

En la planta de tratamiento de agua de la unidad #3 se tiene instalado este transmisor en la salida del tanque de agua desmineralizada, pero debido a que todavía no se ha realizado el flushing de las tuberías no es posible saber la demanda que tendrá la planta de agua.

Se hizo un estudio utilizando la fórmula de flujo volumétrico para poder determinar, en teoría, la demanda que tendrá la nueva planta de tratamiento de agua.

$$Q = A \cdot v$$

Ecuación 1. Fórmula de flujo volumétrico

Donde A es el área donde pasa el agua y v es la velocidad que lleva el agua.

La tubería que sale por el tanque de agua desmineralizada tiene un diámetro de 0.35 metros, siendo el radio 0.175 metros. El personal de la planta realizó varios estudios y se estima que la velocidad que tendrá el agua será de 0.5 m/s. Se realizó la ecuación para determinar la demanda:

$$Q = A * v$$

$$Q = \pi r^2 * v$$

$$Q = \pi \left(\frac{0.35 \text{ m}}{2} \right)^2 * 0.5 \text{ m/s}$$

$$Q = 0.048 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \left(\frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} \right) \cong 173 \text{ m}^3/\text{h}$$

Se obtuvo que la demanda de agua que tendrá la nueva planta de tratamiento de agua será de 173 m³/h, esto se sabrá hasta que la planta quede en línea y funcionando de manera habitual.

5.3 CONEXIONES DE INSTRUMENTOS

Con la ayuda del diagrama P&ID brindado por los supervisores de instrumentación, se logró identificar cada uno de los instrumentos y donde están instalados. Se contabilizó un total de 103 instrumentos, de los cuales están conectados en 10 diferentes cajas de conexiones. Se desarrolló una gráfica mediante una tabla donde se muestra la cantidad y el tipo de instrumento que se encuentra en la planta de tratamiento de agua.

Tabla 6. Tipo y cantidad de instrumentos

Indicador de Conductividad	2
Indicadores de Presión	29
Indicadores de Nivel	16
Indicadores de Flujo	7
Switch de Flujo	3
Switch de Presión Alta	3
Switch de Presión Baja	2
Switch de Nivel	11
Switch de Presión	6
Switch de Presión Diferencial	2
Analizador de Conductividad	3
Analizador de pH	3
Analizador de Turbidez	1
Transmisor de Flujo	8
Transmisor de Nivel	4
Transmisor de Presión Diferencial	1
Controlador de Temperatura	1
Medidor de Potencial de Redox	1

Fuente: Propia

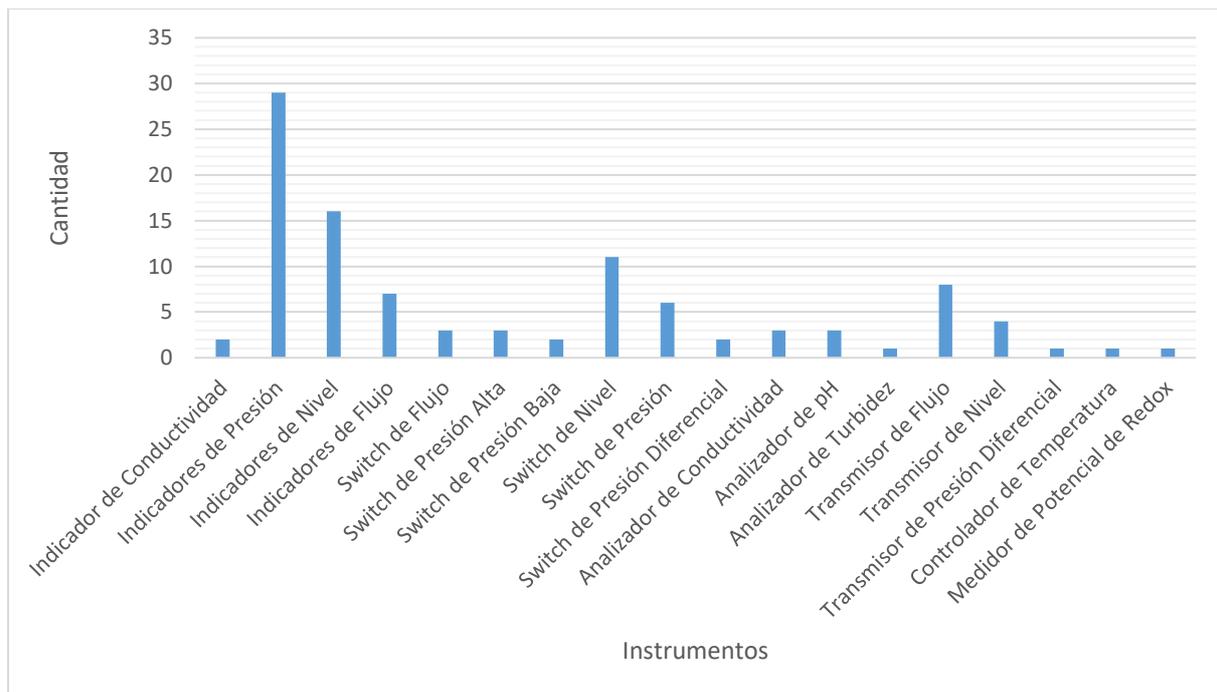


Ilustración 25. Instrumentos en planta de tratamiento de agua

Fuente: Propia

Como se puede observar en la gráfica anterior, esta nos indica la cantidad y el tipo de instrumento que hay en la planta de tratamiento de agua. El instrumento de mayor cantidad es el indicador de presión, ya que este parámetro es de mucha importancia. Se revisa constantemente al momento de pasar por todos los procesos de la planta.

Los supervisores de instrumentación también brindaron el Cable Schedule de las diferentes cajas de conexiones, siendo fácil identificar a que caja está conectado cada instrumento.

Tabla 7. Cable Schedule de la caja de conexiones ICJB-01

INSTRUMENT CONTROL JUNCTION BOX-01 SCHEDULE FOR BIJAO ELECTRIC										
		Project ID	ES0103 (1 X 35 MW CAPTIVE POWER PLANT - UNIT III)					Approved By		
		Client	M/s BIJAO ELECTRIC CO, HONDURAS					Checked By		
		Consultant						Prepared By		
ISGEC HEAVY ENGINEERING LTD.		ICJB-01					Date of Release			
							Document Revision			
FROM FIELD TO JUNCTION BOX										
Sr. No.	Branch Cable Details	Instrument Tag	Ferrule @ Instrument Side	Description	JB Details				Outgoing Cable Details	
					No.	Ferrule @ Incoming	Port	TB No.		
1	ICJB-01-01 / 2C X 1.5 Sq. mm	00LSM-4	1-ICJB-01/IN.	NaOC/NaOH DOSING TANK (CEB-1)-LEVEL SWITCH LOW	ICJB-01	1-00LSM4-01/IN.	/TB:	1	/P1(+)	I C B - 0 1
			2-ICJB-01/OUT.		ICJB-01	2-00LSM4-01/OUT.	/TB:	2	/P1(-)	
2	ICJB-01-02 / 2C X 1.5 Sq. mm	00LSM-5	3-ICJB-01/IN.	HCL DOSING TANK (CEB-2)-LEVEL SWITCH LOW	ICJB-01	3-00LSM5-02/IN.	/TB:	3	/P2(+)	J B - 0 2
			4-ICJB-01/OUT.		ICJB-01	4-00LSM5-02/OUT.	/TB:	4	/P2(-)	
3	ICJB-01-03 / 2C X 1.5 Sq. mm	00LSM-6	5-ICJB-01/IN.	SMBS DOSING TANK-LEVEL SWITCH LOW	ICJB-01	5-00LSM6-03/IN.	/TB:	5	/P3(+)	3 1
			6-ICJB-01/OUT.		ICJB-01	6-00LSM6-03/OUT.	/TB:	6	/P3(-)	
4	ICJB-01-04 / 2C X 1.5 Sq. mm	00LSM-7	7-ICJB-01/IN.	ANTISCALANT DOSING TANK-LEVEL SWITCH LOW	ICJB-01	7-00LSM7-04/IN.	/TB:	7	/P4(+)	/ S 8 Q
			8-ICJB-01/OUT.		ICJB-01	8-00LSM7-04/OUT.	/TB:	8	/P4(-)	
5	ICJB-01-05 / 2C X 1.5 Sq. mm	00LSM-8	9-ICJB-01/IN.	HCL DOSING TANK-LEVEL SWITCH LOW	ICJB-01	9-00LSM8-05/IN.	/TB:	9	/P5(+)	P M A 1 R
			10-ICJB-01/OUT.		ICJB-01	10-00LSM8-05/OUT.	/TB:	10	/P5(-)	
6	ICJB-01-06 / 2C X 1.5 Sq. mm	00PSE-3	11-ICJB-01/IN.	DISCHARGE OF BACK FLUSH PUMP-PRESSURE SWITCH	ICJB-01	11-00PSE3-06/IN.	/TB:	11	/P6(+)	x
			12-ICJB-01/OUT.		ICJB-01	12-00PSE3-06/OUT.	/TB:	12	/P6(-)	
7	ICJB-01-07 / 2C X 1.5 Sq. mm	00PSE-4	13-ICJB-01/IN.	DISCHARGE OF RO FEED PUMP-PRESSURE SWITCH	ICJB-01	13-00PSE4-07/IN.	/TB:	13	/P7(+)	1 - 0
			14-ICJB-01/OUT.		ICJB-01	14-00PSE4-07/OUT.	/TB:	14	/P7(-)	
8				SPARE						
9				SPARE						

DOC ID.: HA4-040003150009-INSTRUMENT CONTROL JUNCTION BOX SCHEDULE-1									
Approved By		VBS							
Checked By		AK							
Prepared By		AK							
Date of Release		08.09.15							
Document Revision		1							
FROM JB TO DCS									
Outgoing Cable Details		DCS Marshalling Cabinet Details			Ferrule at JB (Outgoing)		Ferrule at DCS		
		Cabinet No.	Terminal Port	Terminal No.					
/P1(+)	I	WTP-MC#2R	XDI-1	1	ICJB-01/TB-1 TO WTP-MC#2R/XDI-1-1	WTP-MC#2R/XDI-1:1 TO ICJB-01/TB:1			
/P1(-)	C	WTP-MC#2R	XDI-1	2	ICJB-01/TB-2 TO WTP-MC#2R/XDI-1-2	WTP-MC#2R/XDI-1:2 TO ICJB-01/TB:2			
/P2(+)	J	WTP-MC#2R	XDI-1	3	ICJB-01/TB-3 TO WTP-MC#2R/XDI-1-3	WTP-MC#2R/XDI-1:3 TO ICJB-01/TB:3			
/P2(-)	B	WTP-MC#2R	XDI-1	4	ICJB-01/TB-4 TO WTP-MC#2R/XDI-1-4	WTP-MC#2R/XDI-1:4 TO ICJB-01/TB:4			
/P3(+)	0	WTP-MC#2R	XDI-1	5	ICJB-01/TB-5 TO WTP-MC#2R/XDI-1-5	WTP-MC#2R/XDI-1:5 TO ICJB-01/TB:5			
/P3(-)	1	WTP-MC#2R	XDI-1	6	ICJB-01/TB-6 TO WTP-MC#2R/XDI-1-6	WTP-MC#2R/XDI-1:6 TO ICJB-01/TB:6			
/P4(+)	/ S	WTP-MC#2R	XDI-1	7	ICJB-01/TB-7 TO WTP-MC#2R/XDI-1-7	WTP-MC#2R/XDI-1:7 TO ICJB-01/TB:7			
/P4(-)	8 Q	WTP-MC#2R	XDI-1	8	ICJB-01/TB-8 TO WTP-MC#2R/XDI-1-8	WTP-MC#2R/XDI-1:8 TO ICJB-01/TB:8			
/P5(+)	8 Q	WTP-MC#2R	XDI-1	9	ICJB-01/TB-9 TO WTP-MC#2R/XDI-1-9	WTP-MC#2R/XDI-1:9 TO ICJB-01/TB:9			
/P5(-)	P M	WTP-MC#2R	XDI-1	10	ICJB-01/TB-10 TO WTP-MC#2R/XDI-1-10	WTP-MC#2R/XDI-1:10 TO ICJB-01/TB:10			
/P6(+)	A M	WTP-MC#2R	XDI-1	11	ICJB-01/TB-11 TO WTP-MC#2R/XDI-1-11	WTP-MC#2R/XDI-1:11 TO ICJB-01/TB:11			
/P6(-)	1	WTP-MC#2R	XDI-1	12	ICJB-01/TB-12 TO WTP-MC#2R/XDI-1-12	WTP-MC#2R/XDI-1:12 TO ICJB-01/TB:12			
/P7(+)	R	WTP-MC#2R	XDI-1	13	ICJB-01/TB-13 TO WTP-MC#2R/XDI-1-13	WTP-MC#2R/XDI-1:13 TO ICJB-01/TB:13			
/P7(-)	x	WTP-MC#2R	XDI-1	14	ICJB-01/TB-14 TO WTP-MC#2R/XDI-1-14	WTP-MC#2R/XDI-1:14 TO ICJB-01/TB:14			
	1								
	-								
	0								

Fuente: Propia

Como se puede observar en la tabla anterior, esta nos indica con profundidad los detalles de la caja de conexiones. Nos muestra el tipo de cable que se usa, la etiqueta de cada instrumento, la descripción, el número de par conectado y lo más importante es a que gabinete del cuarto

de control llega la señal. En las últimas dos columnas se puede apreciar cómo están conectadas las señales desde la caja de conexiones al gabinete del cuarto de control, y viceversa. Estas se conectan mediante borneras que tienen un fusible para evitar alguna sobrecarga eléctrica.



Ilustración 26. Borneras en gabinete en el cuarto de control

Fuente: Propia

5.4 CALIBRACIÓN Y COMISIONAMIENTO DE LOS INSTRUMENTOS

Antes de que se procediera a calibrar los instrumentos, era necesario crear tablas para llevar mejor el control de las calibraciones y poder hacer el comisionamiento. Durante el proyecto se desarrollaron varias tablas de calibraciones, una para todos los transmisores, otra para los indicadores de flujo, conductividad, temperatura y nivel, y una para los indicadores de presión.

Fuente: Propia

La primera tabla desarrollada fue la anterior, que es el formato para la calibración de los transmisores. Se identifica que transmisor se está trabajando, ya sea de presión, presión diferencial, flujo o nivel, la marca, el modelo, el sufijo, el número de serie, la etiqueta, la fecha de la última calibración y la fecha actual. También se puso los valores LRV y URV, que son el rango de operación del transmisor; luego, los valores que corresponden del 0% al 100% y que corriente mide con el comunicador de campo 475 HART. Por último, si el instrumento está apto para operación y si hay observaciones.

5.3.2. CALIBRACIÓN DE INDICADORES DE PRESIÓN

Tabla 9. Tabla de calibración de indicadores de presión

		Department	Calibration Table				
			Instrumentation Department				
No		Instrument / Field Tag	WTP 2				
			TAG DESCRIPTION	Scale Range	Engg Units	Calibration Done	Calibration Date
PRESSURE GAUGE							
1		OOPIE-1	DISCHARGE OF MGF FEED PUMP -A	0-6	KG/CM2	X	25/2/19
2		OOPIE-2	DISCHARGE OF MGF FEED PUMP -B	0-6	KG/CM2	X	25/2/19
3		OOPIE-3	INLET OF MGF	0-6	KG/CM2	X	25/2/19
4		OOPIE-4	OUTLET OF MGF	0-6	KG/CM2	X	25/2/19
5		OOPIB-5	DISCHARGE OF MGF AIR BLOWER-A	0-1	KG/CM2	X	25/2/19
6		OOPIB-6	DISCHARGE OF MGF AIR BLOWER-B	0-1	KG/CM2	X	25/2/19
7		OOPIE-7	DISCHARGE OF SLUDGE TRANSFER PUMP-A	0-6	KG/CM2	X	25/2/19
8		OOPIE-8	INLET OF BSF	0-6	KG/CM2	X	25/2/19
9		OOPIE-9	UF PERMEATE HEADER	0-6	KG/CM2	X	25/2/19
10		OOPIE-10	UF REJECT HEADER DRAIN	0-6	KG/CM2	X	25/2/19
11		OOPIE-11	UF FEED HEADER DRAIN	0-6	KG/CM2	X	25/2/19
12		OOPIE-12	DISCHARGE OF BACKFLUSH PUMP-A	0-6	KG/CM2	X	25/2/19
13		OOPIE-13	DISCHARGE OF BACKFLUSH PUMP-B	0-6	KG/CM2	X	25/2/19
14		OOPIE-14	DISCHARGE OF RO FEED PUMP-A	0-6	KG/CM2	X	25/2/19
15		OOPIE-15	DISCHARGE OF RO FEED PUMP-B	0-6	KG/CM2	X	25/2/19
16		OOPIE-16	3 WAY VALVE	0-6	KG/CM2	X	25/2/19
17		OOPIE-17	5 WAY VALVE	0-25	KG/CM2	X	25/2/19
18		OOPIE-18	RO SECOND STAGE CLEANING INLET	0-6	KG/CM2	X	25/2/19
19		OOPIE-19	DISCHARGE OF CLEANING SOLUTION PUMP	0-10	KG/CM2	X	25/2/19
20		OOPIB-20	DISCHARGE OF DEGASSER AIR BLOWER	0-00 mmw	KG/CM2	X	25/2/19
21		OOPIE-21	DISCHARGE OF MB FEED PUMP-A	0-6	KG/CM2	X	25/2/19
22		OOPIE-22	DISCHARGE OF MB FEED PUMP-B	0-6	KG/CM2	X	25/2/19
23		OOPIE-23	INELT OF MB	0-6	KG/CM2	X	25/2/19
24		OOPIE-24	OUTLET OF MB	0-6	KG/CM2	X	25/2/19
25		OOPIE-25	DISCHARGE OF MB AIR BLOWER-A	0-1	KG/CM2	X	25/2/19
26		OOPIE-26	DISCHARGE OF MB AIR BLOWER-B	0-1	KG/CM2	X	25/2/19
27		OOPIE-27	DISCHARGE OF MB REGENERATION PUMP-A	0-6	KG/CM2	X	25/2/19
28		OOPIE-28	DISCHARGE OF MB REGENERATION PUMP-B	0-6	KG/CM2	X	25/2/19
29		OOPIE-29	DISCHARGE OF SLUDGE TRANSFER PUMP-B	0-6	KG/CM2	X	25/2/19

Fuente: Propia

Esta tabla nos muestra la calibración hecha a los indicadores de presión, en la cual se identifica la etiqueta, la descripción de donde se encuentra, el rango de medición, las unidades de

medición, si la calibración fue hecha y la fecha de calibración. Debido a que estos indicadores no generan ninguna señal, solo se procede a calibrarlos mediante una bomba de calibración especial. Se puede observar que se realizó la calibración de todos los indicadores de presión.

5.3.3. CALIBRACIÓN DE INDICADORES DE NIVEL, FLUJO, CONDUCTIVIDAD Y TEMPERATURA

Tabla 10. Tabla de calibración de indicadores de nivel y flujo

		Department	Calibration Table				
		Area	Instrumentation Department				
No	Instrument / Field Tag	TAG DESCRIPTION	Scale Range	Engg Units	Estado del Visor	Verification Date	
LEVEL INDICATOR							
30	00LIM-1	COAGULANT DOSING TANK	CC: 1790	MM	Buen Estado	27/2/19	
31	00LIM-2	POLYMER DOSING TANK	CC: 2170	MM	Buen Estado	27/2/19	
32	00LIM-3	NaOCl DOSING TANK	CC: 650	MM	Buen Estado	27/2/19	
33	00LIM-4	NaOCl/NaOH DOSING TANK (CEB-1)	CC: 650	MM	Buen Estado	27/2/19	
34	00LIM-5	HCL DOSING TANK (CEB-2)	CC: 650	MM	Buen Estado	27/2/19	
35	00LIM-6	SMBS DOSING TANK	CC: 650	MM	Buen Estado	27/2/19	
36	00LIM-7	ANTISCALANT DOSING TANK	CC: 650	MM	Buen Estado	27/2/19	
37	00LIM-8	HCL DOSING TANK	CC: 650	MM	Buen Estado	27/2/19	
38	00LIE-9	CLEANING SOLUTION TANK	CC: 820	MM	Buen Estado	27/2/19	
39	00LIE-10	DEGASSER WATER TANK	CC: 1000	MM	Buen Estado	27/2/19	
40	00LIE-11	DEGASSER WATER TANK	CC: 1000	MM	Buen Estado	27/2/19	
41	00LIM-12	ACID MEASURING TANK	CC: 820	MM	Buen Estado	27/2/19	
42	00LIM-13	CAUSTIC DILUTION TANK	CC: 700	MM	Buen Estado	27/2/19	
43	00LIM-14	PH CORRECTION DOSING TANK	CC: 650	MM	Buen Estado	27/2/19	
44	00LIM-15	NaOCl DOSING TANK	CC: 650	MM	Buen Estado	27/2/19	
45	00LIE(F)-1	UF PERMEATE WATER TANK	4500	MM	Buen Estado	27/2/19	
FLOW INDICATOR							
49	00RME-1	DISCHARGE OF BACK FLUSH PUMP	16-80	M3/Hr	Buen Estado	27/2/19	
50	00RME-2	DISCHARGE OF RO FEED PUMP	4-20	M3/Hr	Buen Estado	27/2/19	
51	00RME-3	INLET OF MB	4-20	M3/Hr	Buen Estado	27/2/19	
52	00RME-4	MB ACID EJECTOR POWER WATER LINE	400-4000	LPH	Buen Estado	27/2/19	
53	00RME-5	AMT EJECTOR DISCHARGE	600-6000	LPH	Buen Estado	27/2/19	
54	00RME-6	MB CAUSTIC EJECTOR POWER WATER LINE	400-4000	LPH	Buen Estado	27/2/19	
55	00RME-7	CDT EJECTOR DISCHARGE	600-6000	LPH	Buen Estado	27/2/19	

Fuente: Propia

Esta tabla nos muestra la calibración hecha a los indicadores de nivel y flujo. Al igual que en la tabla de calibración de los indicadores de presión se identifica la etiqueta, la descripción de donde se encuentra, el rango de medición y las unidades de medición. Debido a que estos indicadores no generan ninguna señal, solo se procede a revisar el visor y verificar que este en buen estado.

Tabla 11. Tabla de calibración de indicadores de conductividad y temperatura

		Department	I/O Signal Testing						
		Area	Instrumentation Department						
No	Signal Type	Instrument / Field Tag	TAG DESCRIPTION	From	To	Scale Range	Engg Units	Estado de Pantalla	Verification Date
TEMPERATURE INDICATOR CONTROLLER									
86	-	00TIE-1	INLET OF CATRIDGE FILTER-1 - TEMPREATURE CONTROLLER	ROJB-01	WTP-MC#2F	0-100	Deg C	Buen Estado	26/2/19
CONDUCTIVITY INDICATOR									
87	-	00CIE-1	RO REJECT RECYCLE - CONDUCTIVITY INDICATOR	ROJB-01	-	0-1999	µS/CM	Buen Estado	26/2/19
88	-	00CIE-2	MB OUTLET - CONDUCTIVITY INDICATOR	IPJB-01	-	0-1999	µS/CM	Buen Estado	26/2/19

Fuente: Propia

Esta tabla nos muestra la calibración hecha a los indicadores de conductividad y temperatura.

Al igual que en la tabla de calibración anterior se identifica la etiqueta, la descripción de donde se encuentra, el rango de medición y las unidades de medición. Debido a que estos indicadores no generan ninguna señal, solo se procede a revisar la pantalla donde muestra el valor y verificar que este en buen estado.

5.3.4. CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTOS CON SEÑALES ANALÓGICAS Y DIGITALES

Tabla 12. Tabla de calibración de instrumentos con señales analógicas

		Department	I/O Signal Testing															
		Area	Instrumentation Department															
No	Signal Type	Instrument / Field Tag	TAG DESCRIPTION	From	To	Scale Range	Engg Units	HH	H	L	LL	0%	25%	50%	75%	100%	Calibration Done	
CONDUCTIVITY INDICATOR ALARM																		
46	AI	00CAE-1	RO INLET - CONDUCTIVITY ANALYZER	ROJB-01	WTP-MC#2F	0.1-2000	µS/CM					0.1	500	1000	1500	2000	X	
47	AI	00CAE-2	RO PERMEATE - CONDUCTIVITY ANALYZER	ROJB-02	WTP-MC#2F	0.1-2000	µS/CM					0.1	500	1000	1500	2000	X	
48	AI	00CAE-3	MB OUTLET - CONDUCTIVITY TRANSMITTER	ISIB-02	WTP-MC#2F	0.01-200	µS/CM					0.01	50	100	150	200	X	
pH INDICATOR ALARM																		
56	AI	00PHAR-1	INLET OF HRSCC - pH ANALYZER	ISIB-03	WTP-MC#2F	0-14	pH					0	3.5	7	10.5	14	X	
57	AI	00PHAR-2	SUCTION OF HIGH PRESSURE PUMP - pH ANALYZER	ROJB-01	WTP-MC#2F	0-14	pH					0	3.5	7	10.5	14	X	
58	AI	00PHAR-3	AUTO pH CORRECTION DOSING - pH ANALYZER	ISIB-02	WTP-MC#2F	0-14	pH					0	3.5	7	10.5	14	X	
OXIDATION REDUCTION POTENTIAL METER																		
75	AI	00ORPAE-1	CATRIDGE FILTER INLET CF1 - ORP METER	ROJB-01	WTP-MC#2F	-1500-1500	mV					-1500	250	500	1,000	1500	X	
FLOW INDICATOR TOTALISER (MAGNETIC)																		
76	AI	00FMR01	INLET OF HRSCC - EM FLOW TRANSMITTER	ISIB-03	WTP-MC#2F	0-225	M3/Hr					0	56.3	113	168.75	225	X	
77	AI	00FME02	INLET OF MGF - EM FLOW TRANSMITTER	ISIB-01	WTP-MC#2F	0-50	M3/Hr					0	12.5	25	37.5	50	X	
78	AI	00FME03	UF REJECT - EM FLOW TRANSMITTER	ISIB-01	WTP-MC#2F	0-5	M3/Hr					0	1.25	2.5	3.75	5	X	
79	AI	00FME04	UF PERMEATE HEADER - EM FLOW TRANSMITTER	ISIB-01	WTP-MC#2F	0-20	M3/Hr					0	5	10	15	20	X	
80	AI	00FMR05	RO REJECT - EM FLOW TRANSMITTER	ROJB-01	WTP-MC#2F	0-10	M3/Hr					0	2.5	5	7.5	10	X	
81	AI	00FMR06	RO REJECT RECYCLE - EM FLOW TRANSMITTER	ROJB-01	WTP-MC#2F	0-5	M3/Hr					0	1.25	2.5	3.75	5	X	
FLOW INDICATOR TOTALISER (VORTEX)																		
82	AI	00FMR07	RO PERMEATE HEADER - FLOW TRANSMITTER	ROJB-01	WTP-MC#2F	0-20	M3/Hr					0	5	10	15	20	X	
83	AI	00FME08	OUTLET OF MB - FLOW TRANSMITTER	ISIB-02	WTP-MC#2F	0-20	M3/Hr					0	5	10	15	20	X	
LEVEL TRANSMITTER (DP TYPE)																		
84	AI	00LITE-1	UF PERMEATE WATER TANK - LEVEL TRANSMITTER	ISIB-01	WTP-MC#2F	0-4500	MM					0	1125	2250	3375	4500	X	
85	AI	00LITE-2	DEGASSER WATER TANK - LEVEL TRANSMITTER	ISIB-02	WTP-MC#2F	0-2000	MM					0	500	1000	1500	2000	X	
TURBIDITY ANALYZER																		
89	AI	00TUAE-1	INLET OF HRSCC - TURBIDITY ANALYZER	ISIB-03	WTP-MC#2F	0-200	NTU					0	50	100	150	200	X	
DIFFERENTIAL PRESSURE TRANSMITTER																		
92	AI	00OPIE-1	ACROSS ULTRA FILTRATION MODULE - DPT	ISIB-01	WTP-MC#2F	0-2.5	KG/CM2					0	0.63	1.25	1.875	2.5	X	
LEVEL TRANSMITTER (ULTRASONIC)																		
93	AI	00LITI-1	SLUDGE PIT - LEVEL TRANSMITTER	ISIB-03	WTP-MC#2F	0-1500	MM					0	375	750	1125	1500	X	
94	AI	00LITI-2	CLARIFIED WATER TANK - LEVEL TRANSMITTER	ISIB-03	WTP-MC#2F	0-1500	MM					0	375	750	1125	1500	X	

Fuente: Propia

Esta tabla nos muestra la calibración hecha a los instrumentos con señales analógicas. Se incluyen todos los transmisores, los analizadores de pH, conductividad y turbidez. Se hizo una tabla especialmente para los transmisores, pero se incluyeron debido a que son señales analógicas y para tener un mejor control de ellos.

La calibración de estos instrumentos se realizó con el comunicador de campo 475 HART, con ajustes para que el output de los transmisores sea probado de 4mA-20mA, haciendo variar la variable del proceso aplicado de 0%-100%. Antes de hacer las calibraciones, se hizo el ajuste de cero y span de todos los transmisores y analizadores. La tabla de calibración nos muestra los valores del transmisor y analizador del 0% al 100%.

En la tabla de calibración hay cuatro columnas llamadas HH, H, L, LL que son los valores Alto-Alto, Alto, Bajo y Bajo-Bajo, respectivamente. Estos valores actúan como un rango nuevo, ya que se puede programar el valor alto-alto como el límite del instrumento y el valor bajo-bajo como el mínimo, siempre y cuando no se pasen del rango predeterminado de fabrica de los instrumentos. Estos no fueron programados aun debido a que se paró el proyecto y se quedó por hacer el flushing de las tuberías para poder determinar los valores que el operario requiera.

Tabla 13. Tabla de calibración de instrumentos con señales digitales

		Department	I/O Signal Testing							
		Area	Instrumentation Department							
No	Signal Type	Instrument / Field Tag	TAG DESCRIPTION	From	To	Scale Range	Engg Units	Open	Close	Calibration Date
LEVEL SWITCH										
59	DI	OOLSM-1	COAGULANT DOSING TANK - LEVEL SWITCH LOW	ICJB-03	WTP-MC#2R	LL: 150 mm FROM BOTTOM OF THE TANK	MM	X	X	28/2/19
60	DI	OOLSM-2	POLYMER DOSING TANK - LEVEL SWITCH LOW	ICJB-03	WTP-MC#2R		MM	X	X	28/2/19
61	DI	OOLSM-3	NaOCl DOSING TANK - LEVEL SWITCH LOW	ICJB-02	WTP-MC#2R		MM	X	X	28/2/19
62	DI	OOLSM-4	NaOCl/NaOH DOSING TANK (CEB-1) - LEVEL SWITCH LOW	ICJB-01	WTP-MC#2R		MM	X	X	28/2/19
63	DI	OOLSM-5	HCL DOSING TANK (CEB-2) - LEVEL SWITCH LOW	ICJB-01	WTP-MC#2R		MM	X	X	28/2/19
64	DI	OOLSM-6	SMBS DOSING TANK - LEVEL SWITCH LOW	ICJB-01	WTP-MC#2R		MM	X	X	28/2/19
65	DI	OOLSM-7	ANTISCALANT DOSING TANK - LEVEL SWITCH LOW	ICJB-01	WTP-MC#2R		MM	X	X	28/2/19
66	DI	OOLSM-8	HCL DOSING TANK - LEVEL SWITCH LOW	ICJB-01	WTP-MC#2R		MM	X	X	28/2/19
67	DI	OOLSE-9	CLEANING SOLUTION TANK - LEVEL SWITCH LOW	ROJB-01	WTP-MC#2R		MM	X	X	28/2/19
68	DI	OOLSM-10	PH CORRECTION DOSING TANK - LEVEL SWITCH LOW	ICJB-02	WTP-MC#2R		MM	X	X	28/2/19
69	DI	OOLSM-11	NaOCl DOSING TANK - LEVEL SWITCH LOW	ICJB-02	WTP-MC#2R		MM	X	X	28/2/19
HIGH PRESSURE SWITCH										
70	DI	OOHPSE-1	UF-REJECT HEADER DRAIN - PRESSURE SWITCH HIGH	UFJB-01	WTP-MC#2R	0.7-7	KG/CM2	X	X	1/2/19
71	DI	OOHPSE-2	UF-BACK FLUSH INLET - PRESSURE SWITCH HIGH	UFJB-01	WTP-MC#2R	0.7-7	KG/CM2	X	X	1/2/19
72	DI	OOHPSE-3	RO-DISCHARGE OF HIGH PRESSURE PUMP - PRESSURE SWITCH HIGH	ROJB-01	WTP-MC#2R	8-32	KG/CM2	X	X	1/2/19
LOW PRESSURE SWITCH										
73	DI	OOLPSE-1	SUCTION OF HIGH PRESSURE PUMP - PRESSURE SWITCH LOW	ROJB-01	WTP-MC#2R	0.4-4	KG/CM2	X	X	1/2/19
74	DI	OOLPSE-2	SOLENOID VALVE AIR INLET - PRESSURE SWITCH LOW	UFJB-01	WTP-MC#2R	0-10	KG/CM2	X	X	1/2/19
DIFFERENTIAL PRESSURE SWITCH										
90	DI	000SE-1	ACROSS MULTI GRADE FILTER - DPS	ICJB-02	WTP-MC#2R	0.2-4	KG/CM2			
91	DI	000SE-2	ACROSS REVERSE OSMOSIS - DPS	ROJB-01	WTP-MC#2R	0.2-4	KG/CM2			
PRESSURE SWITCH										
95	DI	00PSE-1	DISCHARGE OF SLUDGE TRANSFER PUMP - PRESSURE SWITCH	ICJB-03	WTP-MC#2R	0.7-7	KG/CM2	X	X	4/2/19
96	DI	00PSE-2	DISCHARGE OF MGF FEED PUMP - PRESSURE SWITCH	ICJB-03	WTP-MC#2R	0.7-7	KG/CM2	X	X	4/2/19
97	DI	00PSE-3	DISCHARGE OF BACK FLUSH PUMP - PRESSURE SWITCH	ICJB-01	WTP-MC#2R	0.7-7	KG/CM2	X	X	4/2/19
98	DI	00PSE-4	DISCHARGE OF RO FEED PUMP - PRESSURE SWITCH	ICJB-01	WTP-MC#2R	0.7-7	KG/CM2	X	X	4/2/19
99	DI	00PSE-5	DISCHARGE OF MB FEED PUMP - PRESSURE SWITCH	ICJB-02	WTP-MC#2R	0.7-7	KG/CM2	X	X	4/2/19
100	DI	00PSE-6	DISCHARGE OF MB REGENERATION PUMP - PRESSURE SWITCH	ICJB-02	WTP-MC#2R	0.7-7	KG/CM2	X	X	4/2/19

Fuente: Propia

Esta tabla nos muestra la calibración hecha a los instrumentos con señales digitales. Se incluyen todos los switches de presión y de nivel, siendo los únicos instrumentos con entradas digitales en la planta de tratamiento de agua.

La calibración de los switches de presión se realizó con una bomba especial para manómetros y con un multímetro. Se setea un valor dentro del rango del switch para hacer la prueba y mediante la bomba se llegó hasta ese valor, con el multímetro se conectó en las terminales común y normalmente abierto para probar que cuando se llegara a ese valor el switch se cerrara y dejara de recibir presión.

Se hace lo mismo con los switches de nivel; se setea un valor dentro del rango del switch y se pone dentro de un recipiente de 150mm, ya que estos son switches de nivel bajo, y se procede a medir si el contacto se cierra con el multímetro.

VI. CONCLUSIONES

Para finalizar el presente proyecto es necesario plantear las conclusiones que se obtuvieron a lo largo del desarrollo del proyecto. "En esta parte se realiza una revisión de los planteamientos iniciales, contrastados con una reflexión del proceso seguido para alcanzar los objetivos planteados" (Pastor, 2016, p. 53). Las conclusiones tienen que tener un vínculo con los objetivos iniciales, para saber si se cumplió con el alcance del proyecto.

A continuación, se detallan las conclusiones obtenidas durante la elaboración del proyecto.

- Se determinó un valor teórico de $173 \text{ m}^3/\text{h}$ como demanda de agua que tendrá la nueva planta de tratamiento de agua, mediante estudios de medición en la tubería donde sale el agua hacia la caldera, verificando el valor hasta que se haga el flushing de la planta.
- Se estableció el comisionamiento de todas las señales de control, tanto analógicas como digitales, de los instrumentos dentro de la planta. La verificación de los valores reales que entregarán los instrumentos queda pendiente debido a que no se pudo poner en marcha el sistema SCADA.
- Se elaboró la calibración y puesta en línea de los instrumentos dentro de la planta, desarrollando tablas para poder realizar las calibraciones y verificando que todos los instrumentos estuvieran correctamente etiquetados y conectados dentro de las cajas de conexiones.

VII. RECOMENDACIONES

Hacia la empresa

- Mejorar la atención del área de almacén, ya que se pierde mucho tiempo en que se entreguen las herramientas o piezas. Deben de contratar a más personal ahí, ya que durante los inicios de turno se congestiona de gente y solo hay una persona atendiendo.
- Que el departamento de operaciones respete los calendarios de mantenimiento preventivo, ya que para cada día está definido una maquina o sistema y ellos cambian los planes a última hora.
- Desarrollar capacitaciones para practicantes de ingeniería, abarcando cada proceso dentro de la planta para que el alumno este más capacitado.
- Tener un departamento con ingenieros capacitados en metrología para tener al día los certificados de calibración de los diferentes instrumentos, cumpliendo la norma internacional ISO1702 especializada en calibración.

Hacia la universidad

- Implementar charlas sobre seguridad industrial, ya que es muy importante dentro de cualquier industria para evitar todo tipo de accidente y la muerte.
- Desarrollar una clase para conocer y aprender sobre los sistemas SCADA, ya que es un sistema esencial en el rubro de la automatización.
- Desarrollar una clase sobre diagramas P&ID, ya que estos diagramas nos muestran cómo van conectados todos los instrumentos, tuberías y cada una de sus etiquetas. Es fundamental en cualquier tipo de empresa.

- Brindar talleres sobre todos los tipos de transmisores y como poder calibrarlos, también enseñar el uso del comunicador de campo HART. Ya que con este comunicador se hace la mayoría de calibraciones en los instrumentos y es una herramienta esencial para todo instrumentista.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alba G., M., Martínez S., D., & Sandoval C., A. (1999). *Análisis de riesgos del tratamiento del agua para calderas*. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3216056>
- Alonso, J. L. P. (2013). *Montaje y puesta en marcha de sistemas robóticos y sistemas de visión, en bienes de equipo y maquinaria industrial. FMEE0208*. IC Editorial.
- Babcock & Wilcox. (2015). Calderas con lecho fluidizado circulante (CFB) o burbujeante (BFB). Recuperado el 4 de febrero de 2019, de <https://www.babcock.com/es-xl/products/fluidized-bed-boiler>
- Baena Paz, G. M. E. (2014). *Metodología de la investigación*. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3228423>
- Bahamondes, P. A., & Oswald, W. D. (2016). *Aguas de Alimentación de Calderas*. 18.
- Barrientos. A., & Gambao, E. (2014). *Sistemas de producción automatizados*. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3229680>
- BIONICS ADVANCED FILTRATION SYSTEMS (P) LTD. (2013). *Multigrade Filter - Pressure Sand Filter - Dual Media Filter*. Recuperado de <http://www.bionicsro.com/multigrade-sand-filter.html>
- Borroto Nordelo, A., & Rubio González, A. (2010). *Combustión y generación de vapor*. Editorial Félix Varela.
- Cegarra Sánchez, J. (2004). *Un método general de investigación*. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3228528>

- Creus Solé, A. (2005). *Instrumentación industrial (7a. ed.)*. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3175373>
- Daneri, P. A. (2008). *PLC: automatización y control industrial*. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3183744>
- Diaz, A. L. O., & Cardona, C. E. T. (2013). *TRATAMIENTO DE AGUA PARA ALIMENTACIÓN DE CALDERAS*. 91.
- FLÓREZ, J. M. C. (2011). Clarificación De Aguas Usando Coagulantes Polimerizados: Caso Del Hidroxicloruro De Aluminio. *Dyna; Bogota*, 78(165), 18–27.
- Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid - FENERCOM. (2013). *Guía Básica de Calderas Industriales Eficientes*. Recuperado de <https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-basica-calderas-industriales-eficientes-fenercom-2013.pdf>
- García Gutiérrez, L. (2014). *Instrumentación básica de medida y control*. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3223486>
- García Moreno, E. (1999). *Automatización de Procesos Industriales* (1a ed.). Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Gómez Sarduy, J. R., Reyes Calvo, R., & Guzmán del Río, D. (2005). *Temas especiales de instrumentación y control*. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3191622>
- Hernández Hernández, G., Méndez Bustabad, O., & Riera González, G. (2010). *Evaluación del proceso de fabricación de rones para el mejoramiento de la calidad del producto final*.

Recuperado de

<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3202375>

Jiménez Bernal, J. A., & Gutiérrez Torres, C. del C. (2014). *Termodinámica*. Recuperado de

<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3227902>

JM Industrial. (2019). *Controladores de Temperatura*.

Lenntech. (2006). Características del agua de calderas. Recuperado el 5 de febrero de 2019, de

<https://www.lenntech.es/aplicaciones/proceso/caldera/agua-de-calderas-caracteristicas.htm>

Lutech, L. (2009). *Energía térmica*. Recuperado de

<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3180288>

Muñoz Razo, C. (2015). *Cómo elaborar y asesorar una investigación de tesis* (3a ed.).

Recuperado de <https://www.biblionline.pearson.com/Pages/BookDetail.aspx?b=1795>

Pastor, X. (2016). *¿Cómo elaborar un trabajo final de máster?* Recuperado de

<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=4776230>

Rajaram, S. (1999). Next generation CFBC. *Chemical Engineering Science*, 54(22), 5565–5571.

[https://doi.org/10.1016/S0009-2509\(99\)00288-2](https://doi.org/10.1016/S0009-2509(99)00288-2)

Rodríguez Penin, A. (2007). *Sistemas SCADA* (2a ed.). Recuperado de

<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3175459>

Sánchez Naranjo, C. (2011). *Teoría de la combustión*. Recuperado de

<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3199415>

Severns, W. H. (1982). *La producción de energía mediante el vapor de agua, el aire y los gases*.

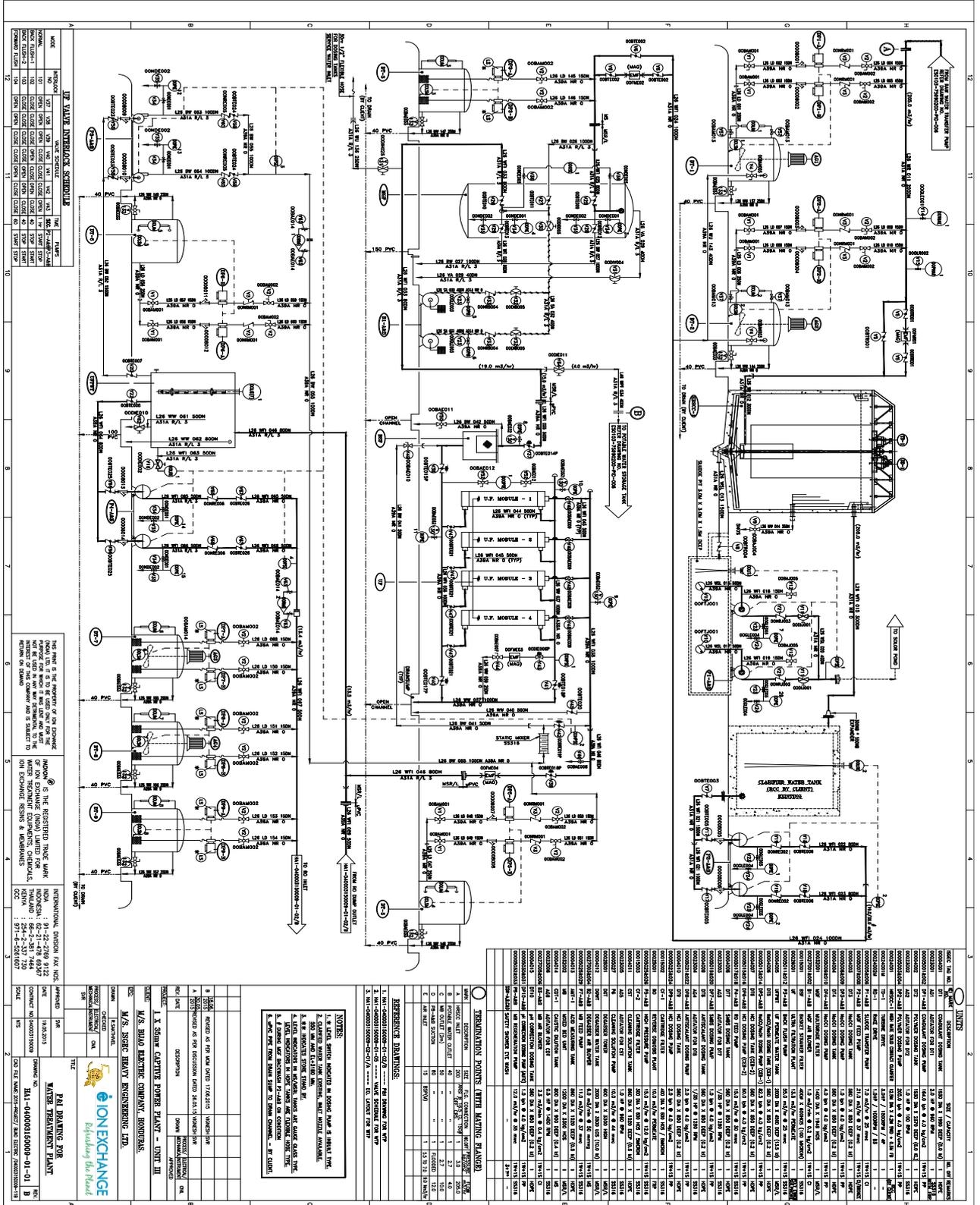
Reverte.

THERMAL ENGINEERING LTDA. (2007). *Tratamiento de Agua para Calderas*. Recuperado de <http://norese.com/publicaciones/Tratamiento%20Agua%20Calderas.pdf>

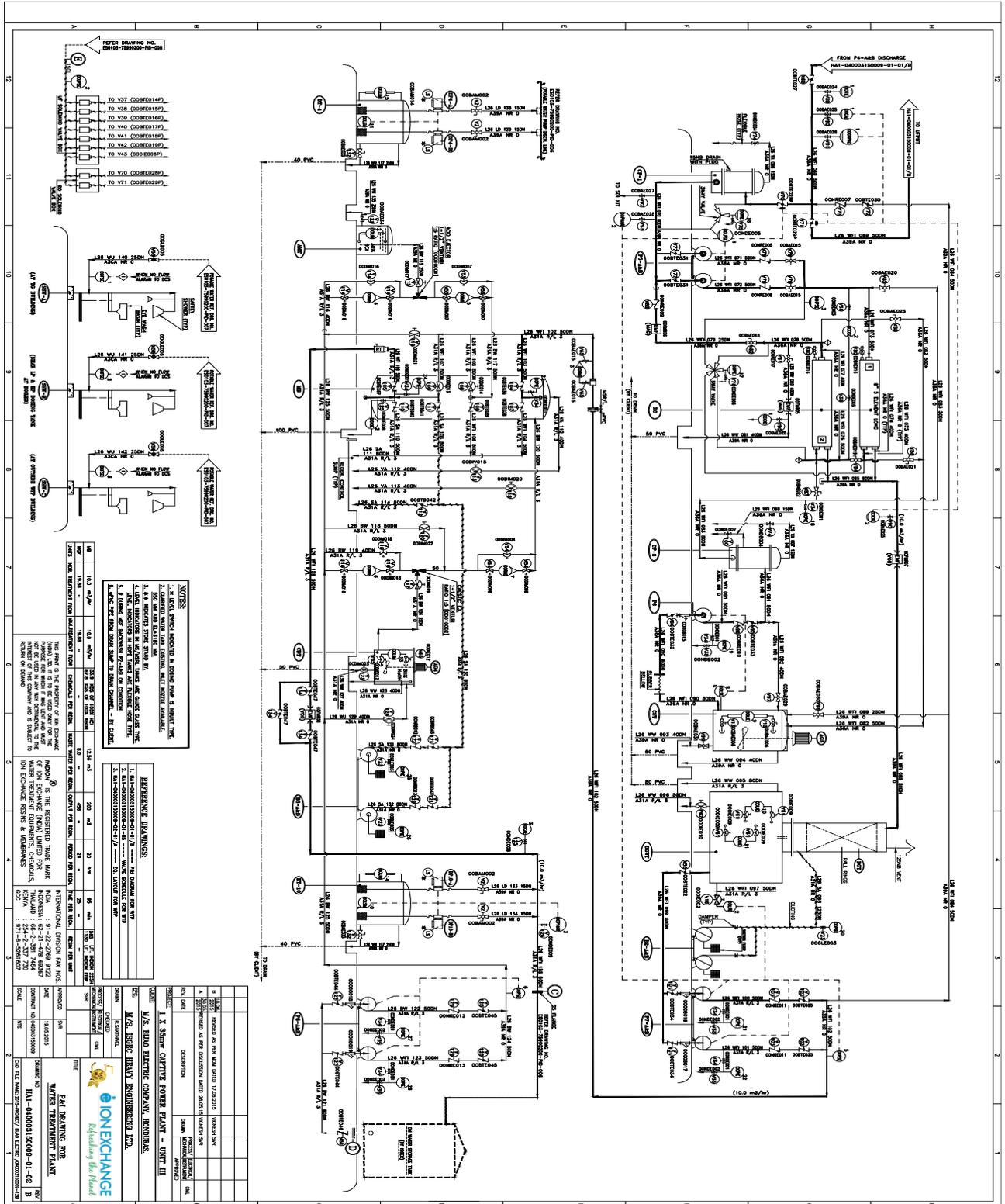
Tran Khac, S., & Misa Llorca, R. (2010). *Control avanzado de la conductividad del agua de la Planta de Ósmosis Inversa en el sistema de purificación del agua del Centro de Inmunología Molecular*. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3202623>

IX. ANEXOS

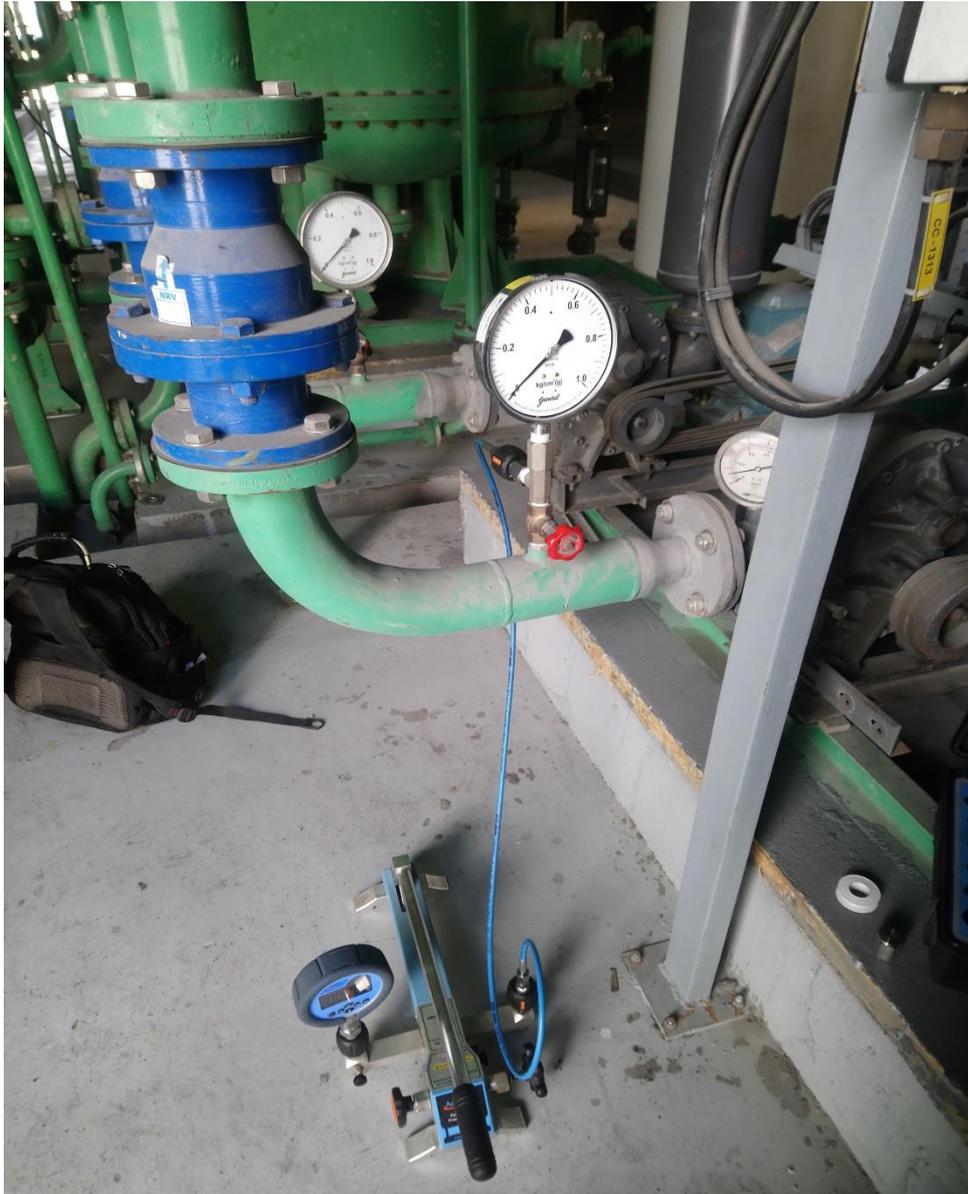
Anexo 1. Diagrama P&ID de planta de tratamiento de agua unidad #3 (Parte 1)



Anexo 2. Diagrama P&ID de planta de tratamiento de agua unidad #3 (Parte 2)

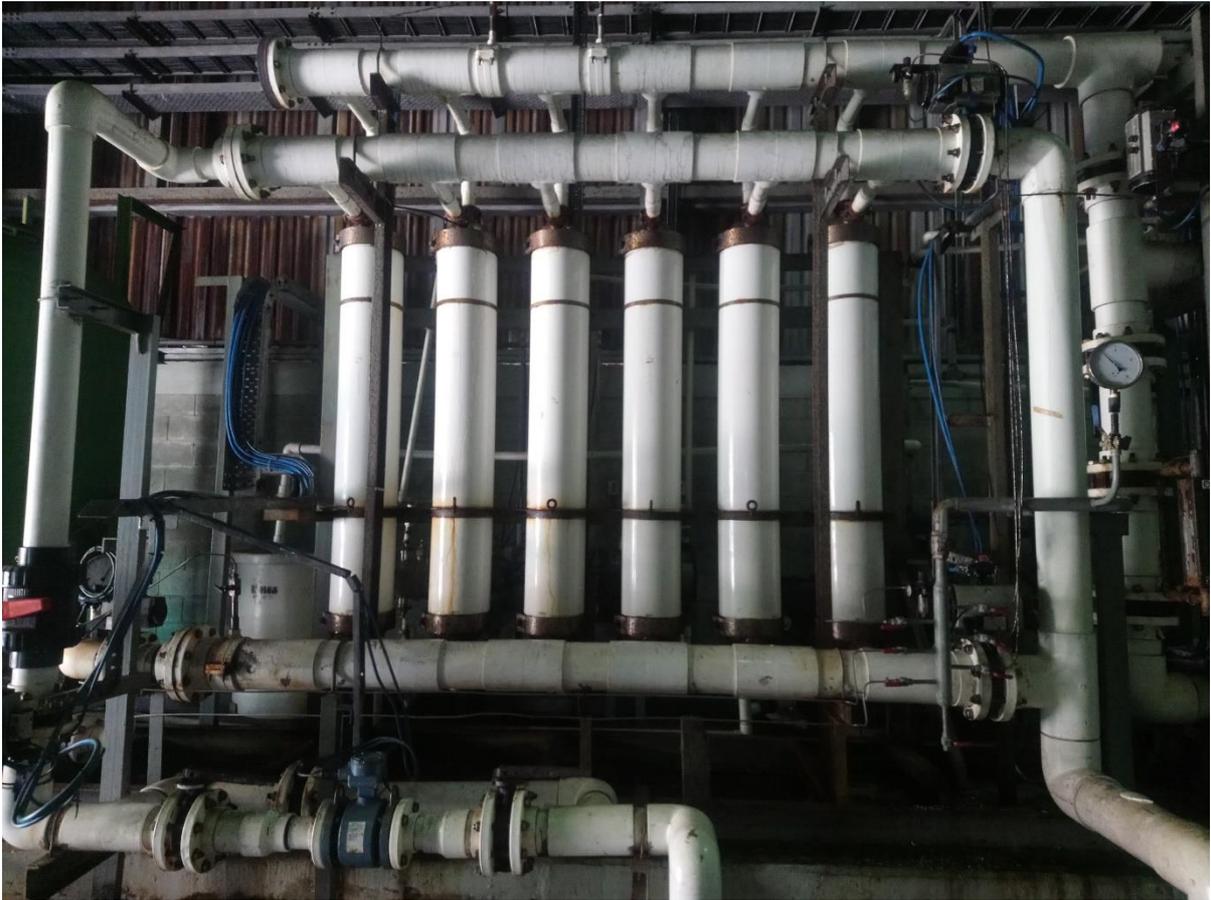


Anexo 3. Calibración de manómetro con bomba para calibración



Fuente: Propia

Anexo 4. Proceso de ultrafiltración en planta de tratamiento de agua



Fuente: Propia

Anexo 5. Tanque desgasificador en planta de tratamiento de agua



Fuente: Propia