



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**PROYECTO DE GRADUACIÓN**

**COMISIONADO Y PUESTA EN MARCHA PLANTA DE  
TRATAMIENTO DE AGUA UNIDAD 2 PARA BECO SA**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO**

**INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**PRESENTADO POR:**

**21211241 CARLOS EDGARDO MARÍN EUCEDA**

**ASESOR: ING. HEGEL LÓPEZ**

**CAMPUS SAN PEDRO SULA**

**OCTUBRE DE 2018**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por escuchar mis oraciones y haberme permitido llegar hasta este punto dándome salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mis padres ya que el apoyo incondicional que me han brindado ha sido muy importante para la culminación de mis estudios.

A los docentes de la Universidad Tecnológica Centroamericana por darme las pautas para mi formación profesional.

A la empresa BECOSA por abrirme las puertas y darme la facilidad para realizar este proyecto.

A mis compañeros "Los Lobos" por la gran amistad ofrecida durante todos estos años que hemos compartido en las aulas y fuera de ellas.

## DEDICATORIA

**A mi madre:** por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos y valores que me han permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

**A mi padre:** por inculcarme el valor de las cosas y el amor al trabajo, siempre me dijiste que la mejor herencia que nos pueden dejar los padres son los estudios y he visto tu sacrificio por qué así fuese.

**A mis hermanos:** Francis y Ramón Elías, gracias a ustedes adquirí el don de la paciencia y la reflexión, por compartir alegrías y tropiezos de los cuales salimos triunfadores.

**A mi amor:** Angely, por dejarme compartir su vida con la mía, por darme su amor y no dejarme caer en los momentos difíciles.

*Carlos Edgardo Marín Euceda*

## RESUMEN EJECUTIVO

La energía proveniente de la combustión de fósiles se ha convertido en una fuente primaria de energía para las grandes industrias. A partir de los combustibles fósiles se genera energía térmica y ésta en conjunto con la energía eléctrica son las dos fuentes primarias de energía de las industrias en sus procesos internos. La energía térmica se le transfiere al agua para formar vapor el cual se utiliza para transformarla en energía mecánica al mover una turbina. Para generar vapor se utilizan calderas y es por esa razón que en casi toda industria existen estos dispositivos.

Las calderas son máquinas de generación de vapor de agua, por lo tanto para asegurar la calidad, los procesos deben ser controlados, automatizados y operados de manera segura. Esta es la razón de este proyecto, porque para un ingeniero que se desempeña en la industria le es indispensable saber: el principio de operación de una caldera, como se monitorea y controla su alimentación de agua para que ésta opere en forma eficiente y de manera segura. Los aspectos mencionados se presentan en este documento el cual constituye una referencia para los ingenieros que se desempeñan en la industria. El proyecto describe la instrumentación empleada para la medida de las variables más importantes como: nivel, presión, flujo, pH, conductividad y temperatura y además presenta el proceso de comisionamiento de los mismos.

**Palabras claves:** Agua, Caldera, Control, Instrumentación, Vapor.

## **ABSTRACT**

The energy from the combustion of fossils has become a primary source of energy for large industries. Thermal energy is generated from fossil fuels and, together with electrical energy, they are the two primary sources of energy for industries in their internal processes. The thermal energy is transferred to the water to form steam which is used to transform it into mechanical energy when moving a turbine. Used to generate steam boilers and for this reason that in almost all industry there are these devices.

Boilers are steam generating machines; therefore to ensure quality, processes must be controlled, automated and safely operated. This is the reason for this project, because for an engineer working in the industry it is essential to know: the operation principle of a boiler, how it monitors and controls its water supply so that it operates efficiently and in a safe. The aspects mentioned are presented in this document which constitutes a reference for the engineers who work in the industry. The project describes the instrumentation used for measuring the most important variables such as: level, pressure, flow, pH, conductivity and temperature and also presents the process of their commissioning.

**Keywords:** Boiler, Control, Instrumentation, Steam, Water.

## ÍNDICE

<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA .....	2
<b>II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>3</b>
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
<b>III. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>7</b>
3.1 GENERALIDADES.....	7
3.1.1 CALDERAS.....	7
3.1.2 CLASIFICACIÓN DE LAS CALDERAS.....	8
3.1.3 COMBUSTIBLE Y GENERACIÓN.....	11
3.2 TRATAMIENTO DE AGUA PARA CALDERAS .....	13
3.2.1 PROBLEMAS DERIVADOS DE LA UTILIZACIÓN DEL AGUA EN LAS CALDERAS .....	14
3.3 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POR ÓSMOSIS INVERSA.....	17
3.4 P&ID.....	20
<b>3.4.1 INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL.....</b>	<b>23</b>
<b>3.4.2 PROCESO DE MONTAJE Y PUESTA EN MARCHA DE INSTRUMENTOS....</b>	<b>25</b>
<b>IV. METODOLOGÍA.....</b>	<b>30</b>
4.1 VARIABLES DEPENDIENTES.....	30
4.2 VARIABLES INDEPENDIENTES.....	30
4.3 ENFOQUE Y MÉTODO .....	30
4.3.1 POBLACIÓN Y MUESTRA .....	33
4.3.2 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS.....	33
4.4 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	34

4.5 BITÁCORA .....	35
<b>V. ANÁLISIS Y RESULTADOS .....</b>	<b>36</b>
<b>VI. CONCLUSIONES.....</b>	<b>44</b>
<b>VII. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>45</b>
7.1 PARA LA EMPRESA .....	45
7.2 PARA LA UNIVERSIDAD.....	45
<b>VIII. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>46</b>
<b>IX. ANEXOS .....</b>	<b>48</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cuadro de ventajas y desventajas de caldera pirotubular .....	9
Tabla 2 Cuadro de ventajas y desventajas de caldera acuotubular.....	9
Tabla 3. Poder calorífico del carbón y otros combustibles sólidos .....	11
Tabla 4. Parámetros característicos del agua, según su procedencia.....	13
Tabla 5. Impurezas más comunes en el agua y los posibles problemas que pueden ocasionar en las calderas .....	15
Tabla 6. Control de instrumentos ICJB-01.....	37
Tabla 7. Control de instrumentos ICJB-02.....	38
Tabla 8. Control de instrumentos ICJB-03.....	39
Tabla 9. Control de instrumentos ISJB-01 .....	40
Tabla 10. Control de instrumentos ISJB-02.....	41
Tabla 11. Control de instrumentos ISJB-03.....	42
Tabla 12. Tabla de resultados .....	42

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Diagrama de una caldera acuotubular .....	8
Ilustración 2. Caldera y sistema de recolección de cenizas unidad 1 BECOSA .....	10
Ilustración 3 Diseño de obra civil para subestación BECOSA.....	12
Ilustración 4. Representación de la Ósmosis y la Ósmosis Inversa.....	17
Ilustración 5. Corte y funcionamiento de una membrana de Ósmosis Inversa .....	18
Ilustración 6. Diagrama de flujo planta de tratamiento de agua para unidad 3 BECOSA .....	19
Ilustración 7. P&ID 01-01 Planta de tratamiento de agua unidad 3 BECOSA .....	21
Ilustración 8. P&ID 01-02 Planta de tratamiento de agua unidad 3 BECOSA .....	22
Ilustración 9. Diagrama prueba de continuidad .....	29
Ilustración 10. Bitácora de instrumentación para WTP U3 .....	35



## GLOSARIO

- **Comisionado:** es el conjunto de actividades de inspección y ensayo dinámicos, con energía y/o fluidos de proceso, realizadas con el fin de asegurar las condiciones necesarias para la PEM. Es una actividad sucesora del pre comisionado.
- **DCS:** Por sus siglas en inglés para "Distributed Control System", es un sistema de control aplicado a procesos industriales complejos en las grandes industrias.
- **JB:** Siglas de "Junction Boxes" que se refiere a las cajas de conexiones de los instrumentos instalados.
- **Montaje:** Se refiere al ensamblaje y/o combinación de las diferentes piezas de un artefacto o instalación que conforman un todo.
- **PEM:** es el conjunto de actividades que aseguran el correcto arranque de las instalaciones, la integridad de las mismas y el ajuste de sus componentes a los parámetros de operación y diseño.
- **Pre comisionado:** es el conjunto de actividades de inspección y ensayos estáticos, sin energía y/o fluidos de proceso, efectuadas luego de finalizar el completamiento mecánico.
- **P&ID:** "Piping and instrumentación Diagram" o Diagrama de instrumentación y canalizaciones de la planta.
- **WTP:** Siglas de "Water Treatment Plant" que en español se traduce como planta de tratamiento de agua.

## I. INTRODUCCIÓN

La pureza del agua depende del uso en particular que se le vaya a dar, en el caso de la producción de vapor para las calderas la calidad del agua debe ser óptima, por lo cual es necesario un tratamiento adecuado y sobre todo un monitoreo y control constante de los parámetros que influyen directamente en la eficiencia de las calderas. También para mantener un buen rendimiento de los elementos que participan en el tratamiento de agua y establecer condiciones seguras para el cuidado del medio ambiente.

Es de suma importancia que el agua que está destinada a la alimentación de calderas, reciba un correcto tratamiento, con el fin de evitar problemas en la estructura interna a los que están sujetas las calderas durante su operación continua, tal y como menciona (Vickie G. Olson, 2017) "Se puede optimizar el control seleccionando el equipamiento analítico apropiado, es decir, instalando y manteniendo el equipo de forma tal que se reduzcan las tareas de mantenimiento y se extienda la vida útil del sensor

Por esta razón se explica en este trabajo de forma breve el funcionamiento de las calderas, pero en gran detalle el tratamiento de agua para la generación de vapor a través del proceso de ósmosis inversa y sobre todo la instrumentación que se utiliza para el monitoreo y correcto control de la misma.

## **1.1 DESCRIPCION DE LA EMPRESA**

NOMBRE DE LA EMPRESA: Bijao Electric Company (BECO) S.A. de C.V.

PERSONERIA: Jurídica

NACIONALIDAD: Hondureña

DIRECCION: Bijao, Kilometro 20 Choloma, Cortes, Honduras, C.A.

TELEFONOS: 504 26669-1414

FAX: 504 2669-1413

EMAIL: info@beco.hn, beco@beco.hn

## II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 2.1 ANTECEDENTES

Bijao Electric Company SA (BECOSA), actualmente cuenta con una planta de tratamiento de agua por ósmosis inversa. El equipo de esta planta fue vendido por ISGEC Heavy Engineering Ltd. que es una empresa de ingeniería global diversificada con sede en India. Dicha planta fue instalada por la empresa HONDUSUPPLY expertos en equipo de bombeo de agua y productos químicos, válvulas y tuberías, en conjunto con la empresa FLORES & FLORES INGENIERIA que se encargó de las conexiones eléctricas de alimentación y/o señales, ambas con sede en San Pedro Sula, Honduras, todo bajo la coordinación del personal de los departamentos mecánico, eléctrico y de instrumentación de BECOSA.

Esta planta de tratamiento de agua comenzó a operar en 2015 con una alimentación de 18 metros cúbicos por hora ( $m^3/h$ ), cabe mencionar que el agua para esta planta de tratamiento proviene del área de pozos perforados que cuenta con ocho (8) pozos hasta el momento.

Según (José M. Domínguez Cerdeira, 2013) "El aseguramiento de la calidad del agua de alimentación y del agua de caldera se consigue cumpliendo con los requerimientos de las normas que definen los parámetros involucrados en el tratamiento de agua".

## **2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

BECOSA consta de tres unidades de 35 MW cada una, obteniendo energía por el movimiento de una turbina de vapor acoplada al eje de un generador. Estas unidades son alimentadas por una planta de tratamiento de agua (WTP). Al momento de instalar la WTP se estipulaba que esta alimentaría solamente 2 calderas para la producción de vapor, sin embargo la empresa creció exponencialmente por lo cual se instaló una tercer caldera, dependiendo aún de una única planta de tratamiento de agua para las 3 unidades.

Desde el año 2015 hasta el día de hoy la planta de tratamiento de agua se mantiene trabajando de forma continua y a su máxima capacidad, sin embargo no da abasto para el consumo de vapor de las 3 calderas de 142 TPH a plena carga. Adicionalmente, esto conlleva al daño prematuro de los instrumentos y equipo que sirven para medir, convertir, transmitir, controlar y registrar variables del proceso en la planta de tratamiento de agua, ocasionando gastos adicionales, asimismo existe una dependencia sensible en el proceso de producción de energía al no tener una redundancia en la planta de tratamiento de agua para poder realizar la producción necesaria de vapor en caso de existir un problema mayor en la planta de tratamiento de agua actual ya que las calderas deben mantenerse en operación continua.

Se inició el proyecto de una nueva planta de tratamiento de agua para la tercera unidad, que debía ser comisionada y puesta en marcha el 30 de Junio de 2018.

El proyecto se tomó con el edificio ya construido y con el personal de HONDUSUPPLY trabajando en la instalación de las tuberías, para la futura instalación, montaje y puesta en marcha del arte instrumentación para el monitoreo y control de la planta para la unidad 3.

## **2.3 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

¿Cuál sería el procedimiento adecuado para reducir los tiempos de entrega de este tipo de comisionamiento?

¿Cómo afectan los actuales procedimientos de comisionamiento?

¿Qué estándares debe cumplir el montaje e instalación de un instrumento de control?

## **2.4 OBJETIVOS**

Según (Gido & Clements, 2012) "El objetivo del proyecto se define por lo general en función del producto final o entregable del programa y del presupuesto, se deben incluir los beneficios esperados que resultarán de la implementación y definirán el éxito del proyecto. El objetivo de un proyecto debe ser claro y acordarse entre el patrocinador o cliente y el equipo de proyecto o contratista que lo ejecutará. Debe ser alcanzable, específico y medible".

### **2.4.1 OBJETIVO GENERAL**

Realizar el comisionado del toda el arte de instrumentación para el monitoreo y control de la planta de tratamiento de agua para unidad 3 de BECO SA.

### **2.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Elaborar un archivo digital y físico de control actualizado sobre los instrumentos industriales de medición de nivel, presión, flujo, pH y conductividad instalados en WTP U3.
- Desarrollar formatos para calibraciones futuras de instrumentos de medición de nivel, presión y flujo usados en WTP U3.
- Desarrollar un reporte del condicionamiento en el montaje e instalación de los instrumentos.

## **2.5 JUSTIFICACIÓN**

La construcción, instalación y puesta en marcha de una nueva planta para el tratamiento de agua se debe a la necesidad de mantener las condiciones adecuadas en el proceso de ebullición que esta se hace hervir en las calderas a una presión elevada para obtener vapor sobrecalentado el cual se encarga de hacer girar las turbinas de vapor.

Según (Gido & Clements, 2012) "Mientras el trabajo del proyecto se está realizando, es necesario monitorear el avance para asegurar que todo marcha según lo planeado."

Tomando en consideración la delicadez del proceso, es imperativo llevar un control minucioso con cada uno de los instrumentos de medición, incluyendo indicadores locales, transmisores e interruptores, además del resto de actividades realizadas por el personal de BECO y empresas contratistas.

Tomando en cuenta el atraso en la entrega del proyecto, asignar a una persona por parte del departamento de instrumentación, aceleraría el avance en el arte de instrumentación de la nueva planta.

De acuerdo a (Ojeda, 2012) "Es necesario administrar correctamente todos los factores que intervienen en el desarrollo de un proyecto"

### **III. MARCO TEÓRICO**

#### **3.1 GENERALIDADES**

##### **3.1.1 CALDERAS**

Según (Bahamondes & Oswald, 2016) "Caldera es un recipiente metálico, cerrado, destinado a producir vapor o calentar agua, mediante la acción del calor a una temperatura superior a la del ambiente y presión mayor que la atmosférica".

Por lo tanto una caldera es una máquina ingenieril que está diseñada para generar vapor saturado, el cual se genera a través de una transferencia de calor a presión constante en la cual el fluido, originalmente en estado líquido y generalmente agua, se calienta hasta lograr su cambio de estado a vapor.

BECOSA en este caso es una planta generadora de energía eléctrica que consta actualmente con tres unidades de 35 MW cada una y 142 TPH a plena carga.

Estas calderas funcionan mediante la transferencia de calor, producido por la quema de combustible en este caso carbón, piedra caliza triturada en polvo, arena y coque de petróleo, este calor es utilizado para hervir agua a una presión elevada y así obtener vapor sobrecalentado el cual se encarga de hacer girar la turbina de vapor.

Según (Amo & Molina, 2014) "Toda caldera debe disponer de una superficie total de absorción de calor capaz de transmitir la máxima cantidad de calor suministrada por el combustible al fluido calo portante con el máximo rendimiento y al menor coste posible".



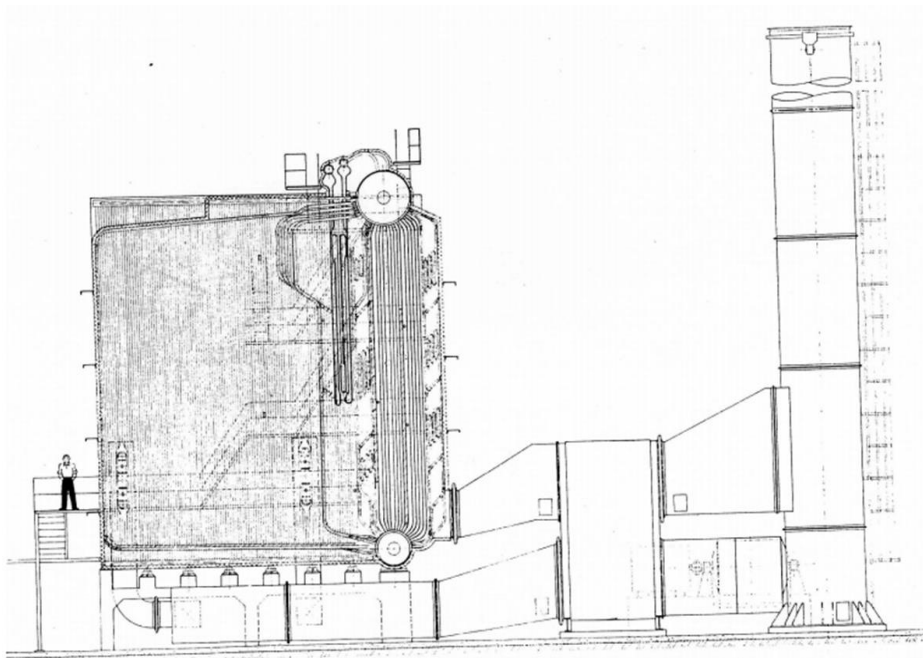
### 3.1.2 CLASIFICACIÓN DE LAS CALDERAS

De acuerdo con (R. Dean Wilson, 2008) "Las calderas de vapor se clasifican, atendiendo a la posición relativa de los gases calientes y del agua, en acuotubulares y pirotubulares".

Pirotubulares: en este tipo de calderas los gases calientes pasan por el interior de los tubos, los cuales se hallan rodeados de agua.

Acuotubulares: en este tipo de calderas por el interior de los tubos pasa agua o vapor, y los gases calientes se hallan en contacto con la superficie externa de aquéllos, en contraste con el tipo pirotubular.

Este último, es el tipo de calderas que se encuentra en la planta de BECOSA por lo cual el tratamiento de agua es sumamente riguroso ya que el agua viaja a través de los tubos y el incorrecto tratamiento del fluido de alimentación podría ocasionar graves daños a la tubería que podría incluso llegar a provocar accidentes en la planta.



**Ilustración 1 Diagrama de una caldera acuotubular**

Fuente: (Universidad de la República Uruguay, Facultad Ingeniería Química)

**Tabla 1. Cuadro de ventajas y desventajas de caldera pirotubular**

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Menor costo inicial, debido a la simplicidad de diseño en comparación con las acuotubulares de igual capacidad.	Mayor tamaño y peso que las acuotubulares de igual capacidad.
Mayor flexibilidad de operación, ya que el gran volumen de agua permite absorber fácilmente las fluctuaciones en la demanda de vapor.	Mayor tiempo para subir presión y entrar en funcionamiento.
Menores exigencias de pureza en el agua de alimentación, porque las incrustaciones formadas en el exterior de los tubos son más fáciles de atacar y son eliminadas por las purgas.	Gran peligro en caso de explosión o ruptura, debido al gran volumen de agua almacenado.
Facilidad de inspección, reparación y limpieza	No son empleadas para altas presiones.

Fuente: (Descripción de Calderas y Generadores de Vapor, ACHS)

**Tabla 2 Cuadro de ventajas y desventajas de caldera acuotubular**

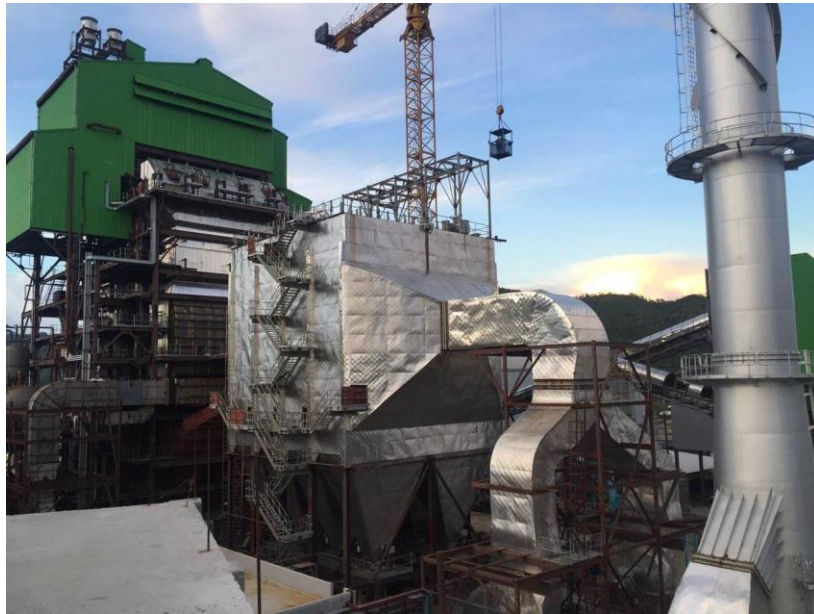
VENTAJAS	DESVENTAJAS
Menor peso por unidad de potencia generada.	Su costo es mayor
Mayor seguridad para altas presiones, mayor eficiencia, son inexplorables.	Deben ser alimentadas con agua de gran pureza, ya que las incrustaciones en el interior de los tubos son, a veces, inaccesibles y pueden provocar roturas de los mismos.
Por tener pequeño volumen de agua en relación a su capacidad de evaporación, puede ser puesta en marcha rápidamente.	Debido al pequeño volumen de agua, le es más difícil ajustarse a las grandes variaciones del consumo de vapor, siendo necesario trabajarlas a mayor presión que la necesaria en las industrias.

Fuente: (Descripción de Calderas y Generadores de Vapor, ACHS)

Un dato importante que mencionar lo dice (Rayaprolu, 2009) "Las calderas pirotubulares de tamaños pequeños son verticales y las de tamaños más grandes son horizontales"

La planta completa de BECOSA cuenta con las siguientes áreas:

1. Área de pozos perforados.
2. Área de turbo generación
3. Caldera.
4. Cuarto de control y de celdas de media y baja tensión.
5. Filtro electrostático
6. Planta de tratamiento de agua.
7. Sistema de bandas de carbón y coque.
8. Sistema de bandas de piedra caliza.
9. Subestación de potencia
10. Sistema de manejo y recolección de cenizas.
11. Torre de enfriamiento de agua.



**Ilustración 2. Caldera y sistema de recolección de cenizas unidad 1 BECOSA**

Fuente: (Web BECOSA)

### 3.1.3 COMBUSTIBLE Y GENERACIÓN

De acuerdo con (P. K. Nag, 2008) "Desde finales del siglo XVIII, las calderas de tubo de fuego se han utilizado en diversas formas para producir vapor para fines industriales."

La planta de BECOSA genera un voltaje de 13.8 kV el cual es elevado a un voltaje de transmisión de 138 kV, en cada una de las tres unidades del proyecto. BECOSA es la primera planta de generación de su tipo que trabaja a base de carbón y derivado de coque de petróleo, en la región centroamericana.

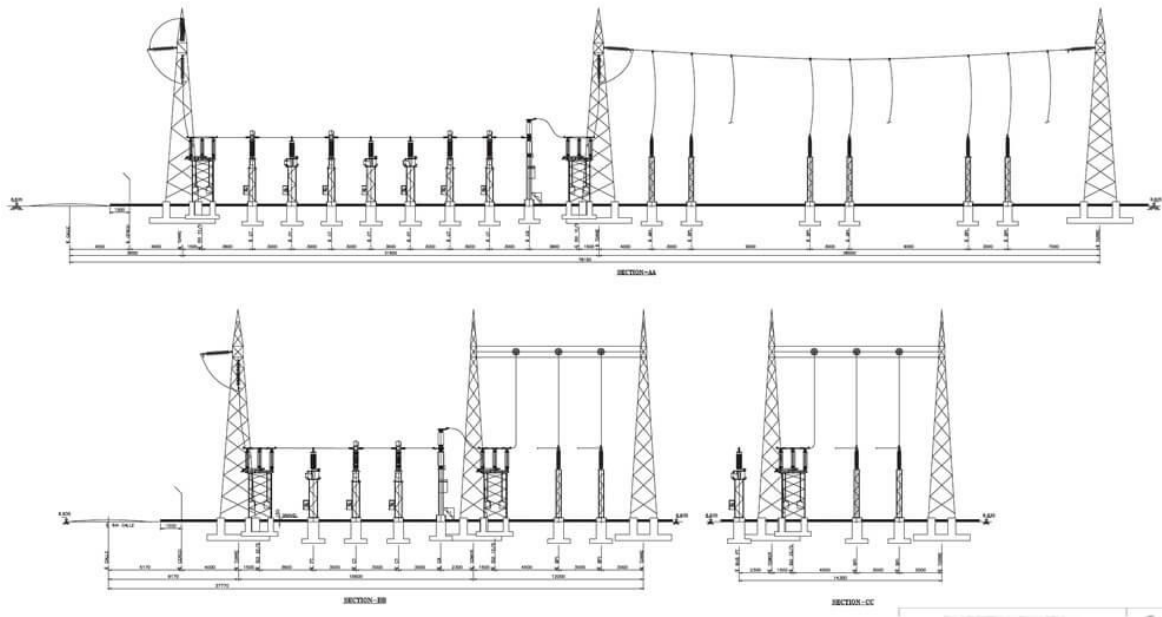
En las calderas de la planta, se hace uso carbón para la combustión y mantener la temperatura, sin embargo, debido a sus altos porcentajes de contaminación, el carbón después de haber alcanzado una temperatura ya determinada luego del arranque de la unidad, se sustituye dentro de la caldera por el coque de petróleo y piedra caliza triturada en polvo.

Este proceso asegura una baja concentración en partes por billón (PPB) de los gases de efecto invernadero más dañinos, que son: el azufre (SO<sub>2</sub>) y el monóxido de carbono (CO). Al sustituir el carbón por el coque de petróleo, se reducen las emisiones de monóxido de carbono y al utilizar piedra caliza en polvo se reducen las emisiones de azufre (SO<sub>2</sub>) al medio ambiente.

**Tabla 3. Poder calorífico del carbón y otros combustibles sólidos**

Combustible	Densidad media kg/m <sup>3</sup>	PCI kJ/kg	PCS kJ/kg	Combustible	PCI kJ/kg	PCS kJ/kg
Turba	360	21300	22500	Aglomerados de carbón	31300	35600
Lignito	1050	28400	29600	Carbón de madera	31400	33700
Hulla	1350	30600	31400	Coque	29300	33700
Antracita	875	34300	34700	Coque de petróleo	34100	36500

Fuente: (Termodinámica y termotecnia)



**Ilustración 3 Diseño de obra civil para subestación BECOSA**

Fuente: (BECOSA)

De acuerdo a (Rayaprolu, 2009) "Las calderas se han utilizado durante más de un siglo y medio en muchos países de Europa y América, y también en Japón, Sudáfrica, Rusia y Australia."

(Pal, 2000) reafirma lo mencionado anteriormente en el informe al decir que "Las fuentes habituales de generación de energía son los combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas)."

### 3.2 TRATAMIENTO DE AGUA PARA CALDERAS

De acuerdo a (Velasco, 2011) "La vida útil de una caldera de vapor de agua está asociada directamente con la calidad del agua con la que se alimenta."

Por lo tanto si una caldera no opera con el control de las propiedades del agua de alimentación y principalmente si es una caldera de tipo acuotubular como es el caso de BECOSA, pone inmediatamente en riesgo la inversión de la misma.

Al manejar altas presiones y temperaturas como en estas unidades, se tiene que incrementar también la calidad de agua del sistema.

De igual forma es sabido que un tratamiento de agua deficiente puede provocar un mayor consumo de agua, productos químicos y del mismo combustible, esto debido a problemas comunes como incrustaciones y purgas excesivas. Por lo tanto es necesario un buen tratamiento de agua de alimentación para que una caldera opere de forma eficiente y sobre todo segura.

**Tabla 4. Parámetros característicos del agua, según su procedencia.**

PARÁMETRO	VALORES CARACTERÍSTICOS			
	Agua de Pozo	Aguas Superficiales	Agua de Mar	OMS
Turbiedad (NTU)	<2	>200	<2	<5
Color (UC)	ausencia	>50	ausencia	<15
Salinidad (ppm)	>.1000	<400	>30.000	<1.000
Sulfatos (ppm)	>200	<50		<400
Cloruros (ppm)	>300	<50	>20.000	<250
Nitratos	>50	<25		<50
Bacterias	ausencia (*)	presencia (*)		ausencia
SDI	<3	>5	<3	<5

Fuente: (Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, AIDIS)

De acuerdo a (Spellman, 2003) "En los sistemas de tratamiento de agua, el foco histórico, o tradicional ha sido controlar la turbidez, el hierro y el manganeso, olor, y color sin embargo las regulaciones proporcionan un nuevo enfoque, y por lo tanto un cambio de paradigma."

### **3.2.1 PROBLEMAS DERIVADOS DE LA UTILIZACIÓN DEL AGUA EN LAS CALDERAS**

Los problemas más frecuentes presentados en calderas pueden dividirse en dos grandes grupos:

1. Problemas de corrosión
2. Problemas de incrustación

Los problemas más comunes en cuanto a la calidad de agua y que afectan directamente en la operación de la caldera son:

- Formación de depósitos: este tipo de problema es muy indeseable ya que al formarse una capa en los tubos evita la transmisión efectiva de calor, lo cual conduce a una baja eficiencia en la producción de vapor y de igual forma causa desgaste del tubo y de instrumentos de medición y control.
- Corrosión por oxidación: ya que los principales componentes de la caldera son metálicos los gases corrosivos como el Oxígeno y Bióxido de Carbono atacan el material y los disuelven.

Los parámetros más importantes del agua de alimentación que debemos tener en cuenta son:

- pH
- Dureza
- Concentración de gases (Oxígeno y Dióxido de Carbono)
- Silicatos
- Sólidos disueltos
- Sólidos suspendidos
- Concentración de materia orgánica

**Tabla 5. Impurezas más comunes en el agua y los posibles problemas que pueden ocasionar en las calderas**

Sólidos en suspensión		Drenado superficial, residuos industriales	Arrastres, espumas, lodos o incrustación.	Sedimentación, coagulación, filtración, evaporación.
Sílice	SiO <sub>2</sub>	Depósitos minerales	Incrustación	Sedimentación, coagulación, filtración, evaporación, intercambio iónico.
Carbonato de calcio	CaCO <sub>3</sub>	Depósitos minerales	Incrustación	Ablandamiento con productos químicos, intercambio iónico, evaporación.
Bicarbonato de calcio	Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Depósitos minerales	Incrustación	Ablandamiento por calentamiento con productos químicos, intercambio iónico, evaporación
Sulfato de calcio	CaSO <sub>4</sub>	Depósitos minerales	Incrustación, corrosión	Ablandamiento con productos químicos, intercambio iónico, evaporación.
Cloruro de calcio	CaCl <sub>2</sub>	Depósitos minerales	Incrustación	Ablandamiento con productos químicos, intercambio iónico, evaporación.
Carbonato de magnesio	MgCO <sub>3</sub>	Depósitos minerales	Incrustación	Ablandamiento con productos químicos, intercambio iónico, evaporación.
Bicarbonato de magnesio	Mg(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Depósitos minerales	Incrustación	Ablandamiento con productos químicos, intercambio iónico, evaporación.
Cloruro de magnesio	MgCl <sub>2</sub>	Depósitos minerales	Incrustación, corrosión	Ablandamiento con productos químicos, intercambio iónico, evaporación.
Ácidos libres	HCl, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Drenaje de minas, residuos industriales	Corrosión	Neutralización, seguida en ocasiones de ablandamiento o



				evaporación.
<b>Cloruro de sodio</b>	NaCl	Aguas negras, residuos industriales, depósitos minerales.	Inerte, pero puede ser corrosivo bajo ciertas condiciones.	Evaporación y desmineralización (intercambio iónico).
<b>Carbonato de sodio</b>	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Depósitos minerales	Arrastre, espuma.	Evaporación y desmineralización (intercambio iónico).
<b>Bicarbonato de sodio</b>	NaHCO <sub>3</sub>	Depósitos minerales	Arrastre, espuma.	Evaporación y desmineralización (intercambio iónico).
<b>oxígeno</b>	O <sub>2</sub>	Absorción de la atmosfera	Corrosión	Desaereación
<b>Grasa y aceite</b>		Residuos industriales	Corrosión, depósitos, arrastre, espuma.	Coagulación, filtración, evaporación, coalescencia.
<b>Materia orgánica y aguas negras</b>		Residuos domésticos e industriales.	Corrosión, depósitos, arrastre, espuma.	Coagulación, filtración, evaporación.
<b>Ácido carbónico</b>	H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Absorción de la atmosfera, descomposición de materia orgánica, depósitos minerales.	Corrosión.	Desaereación

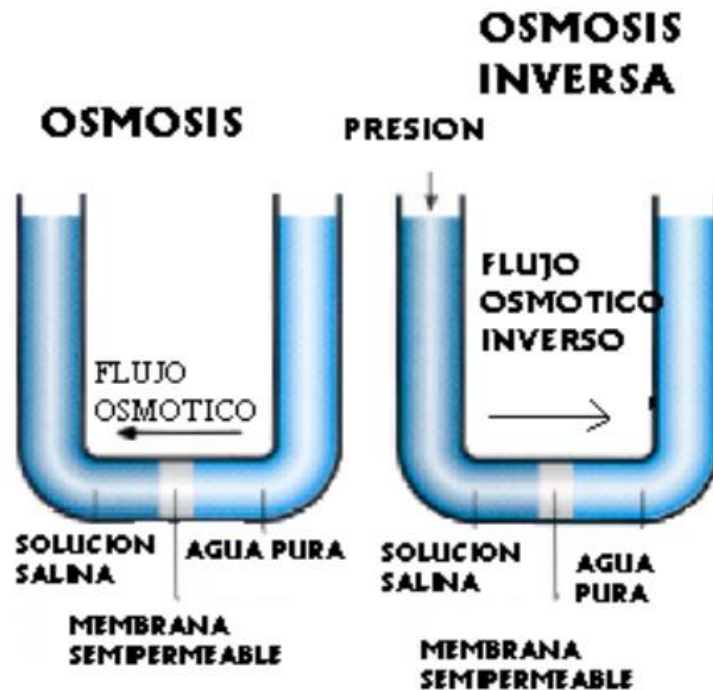
Fuente: (Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias extractivas)

### 3.3 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POR ÓSMOSIS INVERSA

La ósmosis es un fenómeno muy común en la naturaleza. Tanto el organismo de los animales y plantas como el propio cuerpo humano se sirven de la ósmosis para realizar una gran cantidad de procesos.

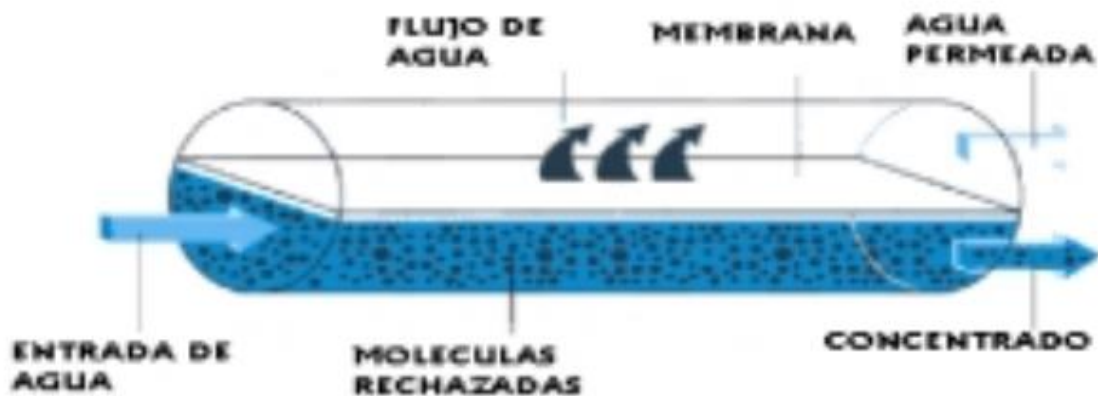
De acuerdo a cuando dos fluidos de distinta densidad se encuentran separados por una membrana semipermeable existe una diferencia de presión entre ambos, y el fluido menos denso tiende a pasar a través de la membrana hasta equilibrar dicha presión. Este es el fenómeno conocido como ósmosis.

En la industria, esa tendencia natural se fuerza a actuar en sentido inverso en lo que lo haría la naturaleza. Este hecho es el que da el nombre al sistema que al llamamos Ósmosis Inversa.



**Ilustración 4. Representación de la Ósmosis y la Ósmosis Inversa**

Fuente: (Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias extractivas)



**Ilustración 5. Corte y funcionamiento de una membrana de Ósmosis Inversa**

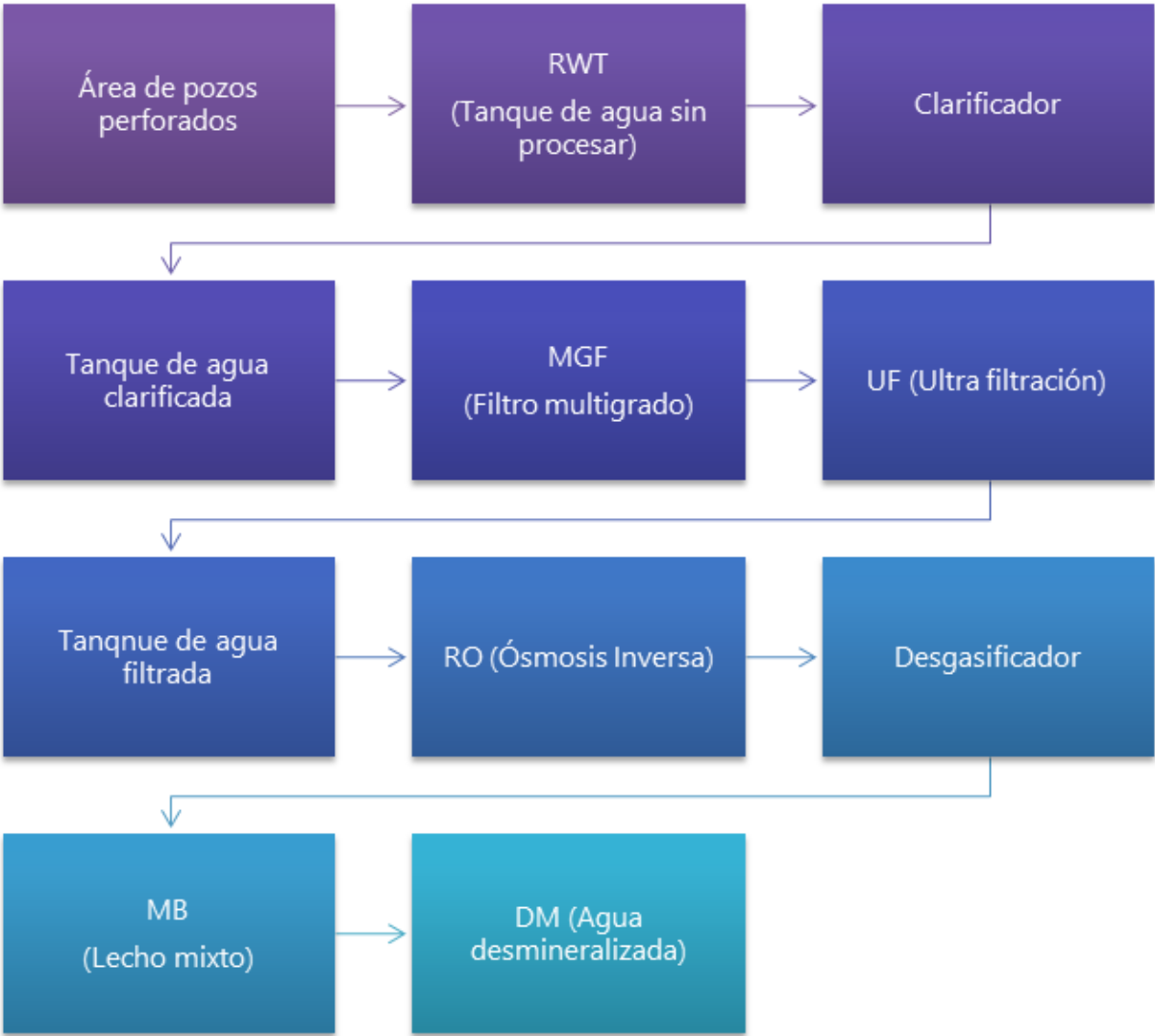
Fuente: (Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias extractivas)

(Velasco, 2011) Afirma “La adición de productos químicos como antiespumantes, secuestrantes de metales corrosivos, neutralizadores de gases corrosivos, modificadores de alcalinidad y pH etc. Pueden exitosamente solucionar los problemas de daños y desgaste anormales de la caldera.”

Los principales parámetros involucrados en el tratamiento del agua de las calderas de BECOSA mediante ósmosis inversa son:

- Dureza
- Oxígeno
- Dióxido de carbono
- Hierro y Cobre
- Alcalinidad
- pH

Para cumplir con el aseguramiento de la calidad de agua se siguió la misma línea de procesos que en la primera planta de tratamiento de agua ya instalada en la empresa.



**Ilustración 6. Diagrama de flujo planta de tratamiento de agua para unidad 3  
BECOSA**

Fuente: (Propia)

### **3.4 P&ID**

De acuerdo a (Sierra & Lara, 2011) "Se denomina diagrama P&ID al esquema donde se registra toda la instrumentación sobre un diagrama de flujo de proceso."

Este diagrama permite asociar a cada elemento de medición y/o control un código al que comúnmente se denomina "tag" del instrumento.

Los P&ID brindados por la empresa fueron los guías para el montaje e instalación de cada uno de los instrumentos de control para la nueva planta de tratamiento de agua para la unidad 3.

Los sistemas de control de procesos se representan en diagramas de tuberías e instrumentos (P&ID) utilizando símbolos normalizados. Con estos se representan: instrumentación, tuberías, bombas, motores y otros elementos auxiliares.

Estos P&ID también se emplearon para la formación de los operadores de planta. Una vez que la planta está construida y está operativa, hay unos límites claros para lo que puede hacer un operador.





### **3.4.1 INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL**

De acuerdo a (SOLÉ, 2012) "Los procesos industriales exigen el control de la fabricación de los diversos productos obtenidos".

El departamento de instrumentación de BECOSA es el que cuenta con una de las mayores responsabilidades y carga con la mayor cantidad de trabajo debido a la importancia de las señales digitales y/o análogas de medición de toda la planta. Las cuales son esenciales para la toma de decisiones, programación de lógica de procesos y protección de los equipos utilizados.

Se utilizan tanto señales digitales como señales análogas para obtener información de puntos importantes del proceso de tratamiento de agua. Las señales análogas, se utilizan para obtener lectura de información cambiante con el tiempo, por ejemplo: presión, nivel, flujo. Las señales digitales por otro lado, se utilizan para obtener retroalimentación de estado actual, un contacto normalmente abierto o normalmente cerrado que cambia de estado al existir una alteración externa sobre el estado inicial. Estas señales digitales se utilizan en casos como, retroalimentación de apertura o cierre de compuertas o válvulas, instrumentos indicadores de nivel alto o bajo, alarmas de carácter crítico etc.

El voltaje de operación de señales es de +24 V DC y un amperaje no mayor a 20 mA mediante el protocolo de comunicación HART.

HART es un estándar de comunicación para equipos de campo usado a gran escala. El estándar HART transforma la señal analógica de 4–20 mA en una señal digital modulada apta para uso industrial.

La ventaja es la combinación de transmisión analógica de medidas, ampliamente probada en campo, y comunicación digital simultánea con transmisión bidireccional y acíclica, lo que permite transferir información de diagnóstico, mantenimiento y proceso de los equipos de campo a los sistemas de orden superior. Juegos de parámetros estandarizados permiten operar todos los dispositivos HART en sistemas con equipos de varios fabricantes



Los instrumentos utilizados para la obtención de señales en la planta de tratamiento de agua son:

- Transmisores de nivel.
- Transmisores de presión.
- Transmisores de temperatura.
- Transmisores de flujo.
- Switches de nivel.
- Válvulas neumáticas de Control.
- Válvulas motorizadas.

Los trabajos realizados durante el proyecto involucraron todos los instrumentos mencionados con anterioridad. Estos son señales de bajo voltaje y bajo amperaje, por lo cual los conductores utilizados en el montaje de los instrumentos son blindados para intemperie con refuerzo de acero, doble capa de aislante plástico y papel aislante transparente, con tierra individual en cada par, de 1.0 milímetros cuadrados de sección transversal de cobre.

De los cuales se utilizaron los siguientes tipos:

- Un Par
- Dos pares
- Cuatro pares
- Ocho pares
- Catorce pares

### **3.4.2 PROCESO DE MONTAJE Y PUESTA EN MARCHA DE INSTRUMENTOS**

Como menciona (SOLÉ, 2012) "En la industria, la medición de nivel es muy importante, tanto desde el punto de vista del funcionamiento correcto del proceso como de la consideración, del balance adecuado de materias primas o productos finales".

Para el montaje de los instrumentos de medición, se siguió un proceso específico, el montaje de los instrumentos y su estructura se llevó a cabo en coordinación con una empresa contratista llamada HONDUSUPPLY y la conexión eléctrica de la alimentación y/o señales se llevó a cabo en coordinación con otra empresa contratista llamada FLORES Y FLORES.

El proceso de puesta en marcha de los instrumentos fue el siguiente:

1. Se verificó físicamente que el instrumento estuviera correctamente montado e instalado sobre su base original, con sus partes originales y en la ubicación correcta que muestra el P&ID.
2. Una vez confirmado el montaje se solicitó al personal encargado de las conexiones del cableado eléctrico de alimentación y señales, que conectara el instrumento correctamente como se indica en el manual del mismo.
3. Se verificó que la conexión fue hecha correctamente usando el manual del instrumento.

Para llevar un control actualizado de los instrumentos que cumplían con el proceso de montaje e instalación correcta se creó un archivo con los siguientes lineamientos:

- Instrumento instalado
- Montaje terminado
- Bandeja instalada
- Instrumento cableado
- Conector bien armado
- Instrumento conectado

- Etiqueta en instrumento
- Etiqueta externa en cable del instrumento
- Conectores bien armados en JB
- Instrumento conectado en JB
- Cableado hacia DCS
- Señales conectadas hacia DCS
- Etiquetas de instrumento en JB
- Etiquetas de señales hacia DCS
- Etiquetas externas en cables de JB
- Señales conectadas en DCS
- Etiquetas en lado DCS
- Loop checking
- Orificios en JB con tapón
- Commissioned
- Instrumento calibrado

Una vez que el instrumento se conecta, estas señales llegar a un punto en común en campo, del cual se obtienen las señales en conjunto hacia DCS (cuarto de control) estos son paneles donde se recibe las señales de campo y son enviadas al sistema SCADA para luego ser utilizadas para monitoreo y/o protección.

Este punto en común en donde llegan las señales se les denomina cajas de registro, pero el término que se utiliza internamente en BECOSA es "Junction Boxes" en donde son enviadas a través de conductores de ocho pares, doce pares y/o catorce pares dependiendo de la cantidad de señales que una caja de registro contenga.

Debido a la gran cantidad de instrumentos que se instalan y la cantidad de señales que se recolectan de campo, la conexión de las cajas de registro en campo y los paneles en el cuarto de control se hacen con listados, los cuales se les denominan "JB SCHEDULES".

Estos listados contienen la siguiente información:

- **Branch Cable Details:** indica el tipo de conductor, su calibre y la cantidad de pares que se utilizará para dicha señal.
- **Instrument Tag:** etiqueta del instrumento con el cual será identificado en la planta. Esta etiqueta es única de cada instrumento.
- **Ferrule@ Instrument Side:** marquilla que llevara el conductor que se conecte dentro del instrumento la cual indica hacia que caja de registro se dirige dicha señal y en que terminales está conectada.
- **Description:** breve descripción de la señal.
- **No:** indica la caja de registro donde estará conectada cada señal.
- **Ferrule @ Incoming:** marquilla que llevara el conductor que se conecte dentro de la caja de registro la cual indica desde que instrumento de campo llega la señal.
- **Port:** indica el nombre de la bornera.
- **TB No:** indica el número de la terminal en la que se conectarán los cables de la señal dentro de la caja de registro.
- **Outgoing Cable Details:** detalla el número de par el cual será conectado a cada terminal en la caja de registro y además detalla el conductor que se utilizará para llevar las señales de la caja de registro a los paneles en el cuarto de control.
- **Cabinet No:** indica el panel al que será llevada la señal en el cuarto de control.
- **Terminal Port:** indica la bornera en la cual será conectada la señal según el tipo de señal.
- **Terminal No:** indica el número de terminal en el cual será conectada la señal dentro del panel.

- **Ferrule at JB:** marquilla ubicada en cada cable que recoge la señal de cambio en la caja de registro. Esta marquilla indica desde donde exactamente en la caja de registro se obtiene la señal que transporta y hacia donde exactamente se llevara en los paneles del cuarto de control.
- **Ferrule at DCS:** marquilla ubicada en cada cable que lleva la señal de la caja de registro hacia los paneles del cuarto de control. Esta marquilla contiene la misma información que la anterior, con la diferencia que el orden de la información se invierte.

4. Cuando las señales de los instrumentos fueron conectadas, se procedió a realizarse una prueba de continuidad o "Loop checking"

Esta prueba consiste en confirmar que las conexiones de las señales hayan sido conectadas como se indicaba en cada uno de los "JB Schedules" o listados de cajas de registro.

Para asegurar de que la señal llegue correctamente al cuarto de control, se hacen 2 tipos de pruebas de continuidad:

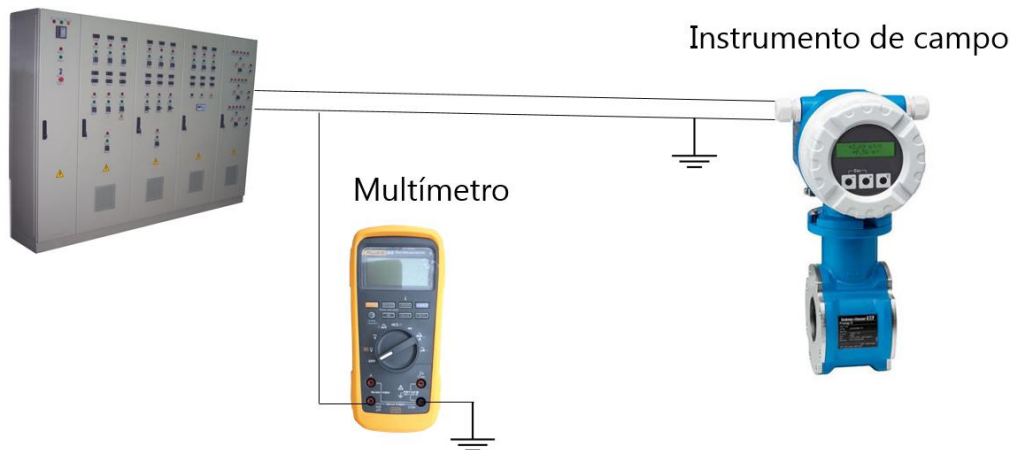
1. Desde el instrumento a la caja de registro
2. De la caja de registro al panel donde llega la señal al cuarto de control.

Antes que nada, se debe mencionar que este procedimiento se llevó a cabo con ayuda del técnicos instrumentistas de BECOSA por la distancia entre cada una de las JB's y el DCS.

Primero se calibró el multímetro para que este pudiera medir continuidad, luego se tomó uno de los hilos de la señal que se deseaba medir y se conectó a tierra por medio de un puente, mientras al otro extremo un técnico instrumentista, ya sea del lado del instrumento, de la caja de registro o de los paneles del cuarto de control, colocó una de las puntas del multímetro en el mismo hilo y la otra punta a tierra. Esto cerró el circuito y el multímetro marcaba continuidad emitiendo una alarma auditiva, de igual manera se repitió

el procedimiento con el segundo hilo de la señal y por consiguiente, todas las demás señales.

Panel de cuarto de control



**Ilustración 9. Diagrama prueba de continuidad**

Fuente: (Propia)

De esta manera se aseguró que las señales fueron conectadas correctamente según los listados.

5. Luego de confirmar que las conexiones de las señales estaban correctas, se procedió a cerrar los fusibles de las borneras en los paneles en el cuarto de control. Estos fusibles son de capacidad máxima de 1 A, se utilizan para proteger las tarjetas del PLC en caso de alguna sobre corriente que pueda dañar el equipo, ya que este es de alto costo.

6. Finalmente, se procedió a calibrar el instrumento para la aplicación que se utilizará mediante la utilización de equipo especial o la opción de auto calibración si el instrumento mismo lo permite.

## **IV. METODOLOGÍA**

Las variables son de acuerdo a (Roberto Hernández Sampieri, 2010) "Respuestas provisionales a las preguntas de investigación"

### **4.1 VARIABLES DEPENDIENTES**

La variable dependiente es el tiempo de comisionamiento y puesta en marcha del arte de instrumentación en la nueva planta de tratamiento de agua para la unidad 3.

### **4.2 VARIABLES INDEPENDIENTES**

En este caso la variable independiente sería la asignación de personal enfocado únicamente en la realización de la nueva planta de tratamiento de agua por parte del departamento de instrumentación.

### **4.3 ENFOQUE Y MÉTODO**

Para la realización de este proyecto en particular se hizo uso del "método científico" en primer lugar y en segundo plano se manejó el método "Scrum".

(Sabino, 1992) "No existe un único modelo de la ciencia, ya que no investigan del mismo modo el astrónomo y el economista, el historiador y el químico, el antropólogo y el bioquímico."

El método científico se utilizó mediante la observación y experimentación ya que se hizo una recopilación de datos sobre las calderas especialmente las de tipo acuotubular, los diferentes tipos de tratamiento de agua que existen, la ósmosis y especialmente sobre la instrumentación industrial. Se observó de manera física el funcionamiento de 3 generadores de vapor y el tratamiento del agua de alimentación de las mismas.

El enfoque de la investigación es considerado mixto ya que tuvo características tanto del enfoque cuantitativo como cualitativo.

Aplicando el enfoque cuantitativo se realizó una recopilación de datos en cuanto a los problemas que existen en las calderas por no tener un tratamiento adecuado del agua de alimentación y las consecuencias que estos mismos ocasionan en la caldera y como eso afecta la eficiencia y seguridad de la misma.

En la parte del enfoque cualitativo se tuvo el apoyo de los técnicos instrumentistas y de los ingenieros del departamento de instrumentación, la vasta experiencia y conocimientos compartidos brindaron las bases técnicas y teóricas de las operaciones y el control necesario en las calderas de vapor.

Antes de iniciar el proyecto se realizó una serie de indagaciones sobre los principios de funcionamiento de los instrumentos de control ya que aunque se contaba con cierta experiencia con instrumentos de control se era consciente de la gran variedad de instrumentación industrial con la que se cuenta actualmente.

El comienzo de la investigación fue meramente un enfoque cuantitativo ya que no se podía iniciar el proyecto sin contar con todos los detalles operativos de la planta de tratamiento actual. De hecho, en este enfoque se realizaron algunas investigaciones y mediciones en campo para conocer las líneas de alimentación de aire para los instrumentos.

Aparte del método científico y el enfoque aplicado también se utilizaron técnicas del método "Scrum", este es el término que define a la formación más reconocible del rugby, en la que ambos equipos, agazapados y atenazados entre sí, empujan para obtener el balón, y sacarlo de la formación sin tocarlo con la mano.

Estas técnicas se utilizaron por la premura de completar el proyecto debido al problema mencionado al inicio del documento. Para lo cual se hizo un desarrollo incremental ya que este ofrece al final de cada iteración una parte de producto operativa, que se puede usar, inspeccionar y evaluar, en este caso este producto es cada uno de los instrumentos de control instalados.

Las técnicas utilizadas de este método fueron:



“Sprint”: nombre que recibe cada acción en desarrollo. Es el núcleo central que generó el pulso de avance a ritmo de “tiempos prefijados”.

“Revisión del sprint”: análisis e inspección de los avances generados en la instalación de los instrumentos por área.

Cabe mencionar que la revisión se llevaba a cabo diariamente en las reuniones de mantenimiento con los demás departamentos y durante los cambios de turno entre los supervisores.

### 4.3.1 POBLACIÓN Y MUESTRA

La población a ser enfoque de estudio está constituida por todos los instrumentos de monitoreo y control, que fueron enviados desde la India por la compañía ISGEC para la nueva planta de tratamiento de agua para la unidad 3 de BECO SA, que se dividen de la siguiente manera:

POBLACIÓN												
Instrumentos	Manómetros	Indicadores de nivel local	Analizadores de conductividad	Rotámetros	Analizadores de pH	Interruptores de nivel	Interruptores de presión	Transmisores de flujo	Transmisores de nivel	Controlador de temperatura	Analizador de turbidez	JBS
Cantidad	19	10	4	8	4	12	18	8	2	1	1	8

#### Ilustración 10. Repartición de la población de estudio

Fuente: (Propia)

La población asciende a 93 dispositivos entre ellos instrumentos de control y monitoreo local, además de las cajas de registro para dicha instrumentación.

Muestra: en este caso se debe realizar el comisionamiento de cada uno de los instrumentos mencionados en la tabla anterior por lo tanto la muestra incluye la población en su totalidad.

### 4.3.2 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS

Para responder las preguntas de ésta investigación, fue necesario obtener datos fiables y válidos, para lo cual se hizo uso de 2 técnicas para la recolección de datos:

Para este proyecto se recurrió en gran parte a la técnica de observación directa por lo cual se estuvo en campo durante la mayor parte del proceso.

Al mismo tiempo se aplicó la técnica de registro documental, al registrar cuales eran los parámetros que cumplían o no cumplían cada uno de los instrumentos enlistados anteriormente.

Para esto se hizo uso de las hojas técnicas de instalación de cada uno de los instrumentos de la planta. (Anexos)

#### 4.4 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

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 calderas	■	■								
Recorrido por actual WTP	■	■								
Capacitación instrumentos de nivel Endress+Hausser	■	■	■	■						
Elaboración de formatos de calibración para instrumentos			■	■	■					
Revisión general de nueva WTP para medir avances				■	■	■				
Impresión de etiquetas para JBs e instrumentos				■	■	■	■			
Calibración de instrumentos de presión					■	■	■	■		
Instalación de cajas de registro de interruptores de nivel						■	■	■	■	
Capacitación sobre operaciones de WTPs						■	■	■	■	
Instalación de JBs							■	■	■	■
Pruebas de conductividad instrumentos-cajas de registro								■	■	■
Pruebas de conductividad cajas de registro-DCS									■	■
Comisionamiento de instrumentos por área									■	■
Entrega de informe de instrumentos pendientes por área										■

**Ilustración 11. Cronograma de trabajo en BECO SA**

Fuente: (Propia)

## 4.5 BITÁCORA

Se dieron comienzo a las actividades el 16 de julio del 2018 en el inicio del cuarto periodo académico:

BIJAO ELECTRIC COMPANY S.A.		BITACORA DE INSTRUMENTACION EN WTP					
No	Semana	Supervisor	Tecnico	Turno	Actividades	Resolucion	Estado
1	1	Carlos Marin	-	1	Inducción de seguridad industrial	Recorrido a través de toda la planta para conocer cada una de las áreas y su funcionamiento.	Completo
2	1	Carlos Marin	-	1	Entrega del "P&I drawing" por parte de Ing. Josue Ortega de la planta de tratamiento de agua para Unidad 3	Reconocimiento del lugar donde se instalara la WTP para Unidad 3	Completo
3	1	Carlos Marin	-	2	Entrega de documento "Hook Up Final Stamped" por parte de Ing. Vasquez para instalacion de instrumentos	Creación de archivo "WTP Instrument Schedule U3" para control en la instalacion de los instrumentos en la planta de tratamiento de agua para Unidad 3	Completo
4	2	Carlos Marin	-	1	Revisión general de WTP	Ningun avance en la instalación mecánica por problemas de asistencia debido al paro de transporte en el país	Completo
5	2	Carlos Marin	-	1	Impresión de etiquetas	Etiquetas para JB6 de la WTP U3 fueron impresas	Completo
6	3	Carlos Marin	-	1	Revisión general de WTP	Documentación de primeros instrumentos instalados por parte de Hondu-supply	Completo
7	4	Carlos Marin	Moises Pinto	1	Revision de avances en WTP U3	Se realizo un inventario de piezas de PVC faltantes para la instalacion de 2 bombas en el area de clarificacion, pendiente de busqueda mañana	Completo
8	5	Carlos Marin	-	1	Calibración de instrumentos	Se crearon formatos de calibración para los instrumentos	Completo
9	5	Carlos Marin	Osman López	2	Calibración de instrumentos	Calibración de switches de presión baja y diferencial	Completo
10	6	Carlos Marin	-	1	Instalación de EMRV	Se realizó un loop checking para confirmar conexiones del control manual de la EMRV	Completo
11	6	Carlos Marin	-	2	Gravimetrico 1	Se realizó verificación de las paletas de accionamiento	Completo
12	6	Carlos Marin	-	1	Cems	Se realizó modificación en la lógica de programación de la CEMS 1 para aumentar los tiempos de muestra	Completo
13	7	Carlos Marin	Henry Cabrera, Olvin Cribas	1	Mantenimiento SA-FAN1 Unidad 3	Se aprovechó el paro programado de unidad 3 para realizar el mantenimiento del piston posicionador del SAFAN1 unidad 3	Completo
14	7	Carlos Marin	Gustavo Lugo	1	Pruebas EMRV	Se realizaron las pruebas de la EMRV tanto de forma manual como de forma automática, simulando presiones máximas en la lógica desde DCS	Completo
15	7	Carlos Marin	-	1	Etiquetas UFJB - WTP U3	Se imprimieron las etiquetas de la UFJB para WTP U3 para los contratistas de F&F	Completo
16	8	Carlos Marin	-	1	Cableado de instrumentación en WTP U3	Se realizó la requisición de 3 cajas plásticas y 3 metalicas de 4x4x2 con salida de media para colocar borneras para los switches de nivel de los tanque	Completo
17	8	Carlos Marin	-	1	Alimentación de aire de instrumentación WTP	Se realizó la búsqueda de la fuente de aire de WTP1 para poder observar si podemos realizar un desvío hacia WTP2	Pendiente
18	9	Carlos Marin	-	1	Supervisión por parte de asesor académico	Se recibió la visita del ing. Hegel Lopez como parte del asesoramiento	Completo
19	9	Carlos Marin	-	1	Sistema de bombas contra incendios	Se realizó el diagrama de conexión de las bombas y el schedule del sistema contra incendios	Completo
20	9	Carlos Marin	Juan Hernandez	2	Loop Checking	Se confirmó confirmar las conexiones de las señales en cada uno de los "JB Schedules"	Completo
21	10	Carlos Marin	-	1	Revision final de avances en WTP U3	Se realizó un informe sobre instrumentos pendientes de montar por cada área	Completo

**Ilustración 12. Bitácora de instrumentación para WTP U3**

Fuente: (Propia)

## V. ANÁLISIS Y RESULTADOS

Durante todo el proceso se consolidaron diferentes listados y archivos tanto en digital como en físico, para poder realizar la revisión de cada instrumento por área y por tipo de instrumento.

Se utilizó el material provisto por la empresa como guía para poder partir hacia el pre-comisionamiento de cada uno de los instrumentos de la planta de tratamiento de agua.

El personal y los materiales necesarios durante el proceso fueron:

- P&ID de WTP Unidad 3
- Multímetro
- Listados de cajas de registro para WTP Unidad 3 "JB Schedules"
- Cable de un ½ metro de longitud para realizar puente a tierra.
- Dos radios para comunicación.
- Un técnico instrumentista.
- Bolígrafo
- Computadora
- Memoria USB
- Folder con pasta gruesa
- Impresora
- Impresora de etiquetas

Se comenzó por analizar la cantidad de instrumentos que debían ser instalados en la planta de tratamiento de agua para el correcto control y funcionamiento de la misma, teniendo en consideración los parámetros mencionados en el capítulo 3.

**Tabla 6. Control de instrumentos ICJB-01**

No	Tag	Description	Instrumento instalad	Montaje terminado	Bandeja instalada	Instrumento cableado	Conector bien armado	Instrumento conectado	Etiqueta en instrumento	Etiqueta externa en c	Conectores bien arm	Instrumento conectado	Cableado hacia DCS	Señales conectadas	Etiquetas de instru. e	Etiquetas de señales	Etiquetas externas e	Señales conectadas e	Etiquetas en lado DC	Loop checking	Commissioned	Orificios en JB con tag	Instrumento calibrad
1	OOFME02	INLET OF MGF- EM FLOW TRANSMITTER																					
2	OOCIE-2	MB OUTLET- CONDUCTIVITY INDICATOR																					
3	OOFMR-1	INLET OF HRSCC- EM FLOW TRANSMITTER																					
4	OOTUAE-1	INLET OF HRSCC- TURBIDITY ANALYSER																					
5	OOLSM-4	NaOCl/NaOH DOSING TANK (CEB-1)-LEVEL SWITCH LOW	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
6	OOLSM-5	HCL DOSING TANK (CEB-2)-LEVEL SWITCH LOW	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
7	OOLSM-6	SMBS DOSING TANK-LEVEL SWITCH LOW	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
8	OOLSM-7	ANTISCALANT DOSING TANK-LEVEL SWITCH LOW	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
9	OOLSM-8	HCL DOSING TANK-LEVEL SWITCH LOW	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
10	00PSE-3	DISCHARGE OF BACK FLUSH PUMP-PRESSURE SWITCH	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
11	00PSE-4	DISCHARGE OF RO FEED PUMP-PRESSURE SWITCH	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
12	000SE-1	ACROSS MULTI GRADE FILTER-DPS	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
13	OOLSM-3	NaOCl DOSING TANK-LEVEL SWITCH LOW	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
14	00PSE-5	DISCHARGE OF MB FEED PUMP-PRESSURE SWITCH	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
15	00PSE-6	DISCHARGE OF MB REGENERATION PUMP-PRESSURE SWITCH	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
16	OOLSM-10	PH CORRECTION DOSING TANK-LEVEL SWITCH LOW	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
17	OOLSM-11	NaOCl DOSING TANK-LEVEL SWITCH LOW	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Fuente: (Propia)

**Tabla 7. Control de instrumentos ICJB-02**

No	Tag	Description	Instrumento instalado	Montaje terminado	Bandeja instalada	Instrumento cableado	Conector bien armado	Instrumento conectado		Etiqueta en instrumento	Etiqueta externa en c	Conectores bien arma	Instrumento conectad	Cableado hacia DCS	Señales conectadas h	Etiquetas de instru. e	Etiquetas de señales	Etiquetas externas en	Señales conectadas e	Etiquetas en lado DC	Loop checking	Commissioned	Orificios en JB con tap	Instrumento calibrado
								X	X															
1	00LSM-1	COAGULANT DOSING TANK-LEVEL SWITCH LOW	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2	00LSM-2	POLYMER DOSING TANK-LEVEL SWITCH LOW	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3	00PSE-1	DISCHARGE OF SLUDGE TRANSFER PUMP-PRESSURE SWITCH	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
4	00PSE-2	DISCHARGE OF MGF FEED PUMP-PRESSURE SWITCH	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
5	00LITE-1	UF PERMEATE WATER TANK-LEVEL TRANSMITTER	X	X																				
6	000PTE-1	ACROSS ULTRA FILTRATION MODULE-DPT	X	X																				
7	00FME02	INLET OF MGF- EM FLOW TRANSMITTER	X	X																				
8	00LITE-2	DEGASSER WATER TANK-LEVEL TRANSMITTER	X	X																				
9	00CAE-3	MB OUTLET-CONDUCTIVITY TRANSMITTER	X	X																				
10	00FME08	OUTLET OF MB- FLOW TRANSMITTER	X	X																				
11	00PHAR-3	AUTO pH CORRECTION DOSING - pH ANALYZER	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
12	00PHAR-1	INLET OF HRSCC- pH ANALYZER	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
13	00LITJ-1	SLUDGE PIT- LEVEL TRANSMITTER	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Fuente: (Propia)

**Tabla 8. Control de instrumentos ICJB-03**

No	Tag	Description	Instrumento instalado	Montaje terminado	Bandeja instalada	Instrumento cableado	Conector bien armado	Instrumento conectado	Etiqueta en instrumento	Etiqueta externa en c	Conectores bien arma	Instrumento conectad	Cableado hacia DCS	Señales conectadas h	Etiquetas de instr. e	Etiquetas de señales	Etiquetas externas en	Señales conectadas e	Etiquetas en lado DC	Loop checking	Commissioned	Orificios en JB con tap	Instrumento calibrado	
1	00TUAE-1	INLET OF HRSCC- TURBIDITY ANALYSER																						
2	00FMR01	INLET OF HRSCC- EM FLOW TRANSMITTER																						
3	00LITJ-2	CLARIFIED WATER TANK- LEVEL TRANSMITTER																						
4	00FME03	UF REJECT- EM FLOW TRANSMITTER	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	00FME04	UF PERMEATE HEADER- EM FLOW TRANSMITTER	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	00HPSE-1	UF-REJECT HEADER DRAIN-PRESSURE SWITCH HIGH	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
7	00HPSE-2	UF-BACK FLUSH INLET-PRESSURE SWITCH HIGH	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
8	00LPSE-2	SOLENOID VALVE AIR INLET-PRESSURE SWITCH LOW	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
9	00BTE014P-ZSO	BSF INLET VALVE OPEN FEED BACK						X	X					X	X	X		X	X					
10	00BTE014P-ZSC	BSF INLET VALVE CLOSE FEED BACK	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
11	00BTE015P-ZSO	BSF OUTLET VALVE OPEN FEED BACK						X	X					X	X	X		X	X					
12	00BTE015P-ZSC	BSF OUTLET VALVE CLOSE FEED BACK	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
13	00BTE016P-ZSO	PERMEATE OUTLET VALVE OPEN FEED BACK						X	X					X	X	X		X	X					
14	00BTE016P-ZSC	PERMEATE OUTLET VALVE CLOSE FEED BACK	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
15	00BTE017P-ZSO	FEED HEADER DRAIN VALVE OPEN FEED BACK						X	X					X	X	X		X	X					
16	00BTE017P-ZSC	FEED HEADER DRAIN VALVE CLOSE FEED BACK	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
17	00BTE018P-ZSO	REJECT HEADER DRAIN VALVE OPEN FEED BACK						X	X					X	X	X		X	X					
18	00BTE018P-ZSC	REJECT HEADER DRAINT VALVE CLOSE FEED BACK	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Fuente: (Propia)



**Tabla 9. Control de instrumentos ISJB-01**

No	Tag	Description	Instrumento instalado	Montaje terminado	Bandeja instalada	Instrumento cableado	Conector bien armado	Instrumento conectado	Etiqueta en instrumento	Etiqueta externa en C	Conectores bien armados	Instrumento conectado	Cableado hacia DCS	Señales conectadas hacia DCS	Etiquetas de instrumentos	Etiquetas de señales	Etiquetas externas en DCS	Señales conectadas en DCS	Etiquetas en lado DC	Loop checking	Commissioned	Orificios en JB con tap	Instrumento calibrado
1	00BTE019P-ZSO	BACK FLUSH INLET VALVE OPEN FEED BACK	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2	00BTE019P-ZSC	BACK FLUSH INLET VALVE CLOSE FEED BACK	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3	00DIE006P-ZSO	REJECT OUTLET VALVE OPEN FEED BACK	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
4	00DIE006P-ZSC	REJECT OUTLET VALVE CLOSE FEED BACK	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
5	00FME03	UF REJECT- EM FLOW TRANSMITTER																					
6	00FME04	UF PERMEATE HEADER- EM FLOW TRANSMITTER	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
7	00OPE-1	ACROSS ULTRA FILTRATION MODULE-DPT	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
8	00BTE014P-CMD	BSF INLET VALVE OPEN/CLOSE COMMAND	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
9	00BTE015P-CMD	BSF OUTLET VALVE OPEN/CLOSE COMMAND	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
0	00BTE016P-CMD	PERMEATE OUTLET VALVE OPEN/CLOSE COMMAND	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
11	00BTE017P-CMD	FEED HEADER DRAIN VALVE OPEN/CLOSE COMMAND	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
12	00BTE018P-CMD	REJECT HEADER DRAIN VALVE OPEN/CLOSE COMMAND	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
13	00BTE019P-CMD	BACK FLUSH INLET VALVE OPEN/CLOSE COMMAND	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
14	00DIE006P-CMD	REJECT OUTLET VALVE OPEN/CLOSE COMMAND	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
15	UF LMP	UF-LOCAL MODE PERMISSION INDICATION	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Fuente: (Propia)

**Tabla 10. Control de instrumentos ISJB-02**

No	Tag	Description	Instrumento instalado	Montaje terminado	Bandeja instalada	Instrumento cableado	Conector bien armado	Instrumento conectado	Etiqueta en instrumento	Etiqueta externa en C	Conectores bien arma	Instrumento conectado	Cableado hacia DCS	Señales conectadas h	Etiquetas de instru. e	Etiquetas de señales	Etiquetas externas en	Señales conectadas e	Etiquetas en lado DC	Loop checking	Commissioned	Orificios en JB con tap	Instrumento calibrado
1	00FMR-5	RO REJECT- EM FLOW TRANSMITTER																					
2	00FMR-6	RO REJECT RECYCLE- EM FLOW TRANSMITTER																					
3	00OCIE-1	RO REJECT RECYCLE- CONDUCTIVITY INDICATOR																					
4	000SE-2	ACROSS REVERSE OSMOSIS-DPS	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
5	00LPSE-1	SUCTION OF HIGH PRESSURE PUMP-PRESSURE SWITCH LOW	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
6	00HPSE-3	RO-DISCHARGE OF HIGH PRESSURE PUMP-PRESSURE SWITCH HIGH	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
7	00LSE-9	CLEANING SOLUTION TANK-LEVEL SWITCH LOW	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
8	00BTE028P-ZSO	CF-1 INLET VALVE OPEN FEED BACK	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
9	00BTE028P-ZSC	CF-1 INLET VALVE CLOSE FEED BACK						X	X				X	X	X		X	X					
10	00BTE029P-ZSO	CF-1 DUMP OUTLET VALVE OPEN FEED BACK						X	X				X	X	X		X	X					
11	00BTE029P-ZSC	CF-1 DUMP OUTLET VALVE CLOSE FEED BACK	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
12	00PHAR-2	SUCTION OF HIGH PRESSURE PUMP- pH ANALYZER	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
13	00ORPAE-1	CATRIDGE FILTER INLET CFI-ORP METER	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
14	00CAE-2	RO PERMEATE- CONDUCTIVITY ANALYZER																					
15	00TIE-1	INLET OF CATRIDGE FILTER-1-TEMPERATURE CONTROLLER																					
16	00CAE-1	RO INLET-CONDUCTIVITY ANALYZER																					

Fuente: (Propia)

**Tabla 11. Control de instrumentos ISJB-03**

No	Tag	Description	Instrumento instalado	Montaje terminado	Bandeja instalada	Instrumento cableado	Conector bien armado	Instrumento conectado	Etiqueta en instrumento	Etiqueta externa en c	Conectores bien arma	Instrumento conectad	Cableado hacia DCS	Señales conectadas h	Etiquetas de instrum. e	Etiquetas de señales	Etiquetas externas en	Señales conectadas e	Etiquetas en lado DC	Loop checking	Commissioned	Oficios en JB con tap	Instrumento calibrado	
1	OOFMR07	RO PERMEATE HEADER-FLOW TRANSMITTER	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
2	OOFMR05	RO REJECT- EM FLOW TRANSMITTER	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
3	OOFMR06	RO REJECT RECYCLE- EM FLOW TRANSMITTER																						
4	00BTE028P-CMD	CF-1 INLET VALVE OPEN/CLOSE COMMAND	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
5	00BTE029P-CMD	CF-1 DUMP OUTLET VALVE OPEN/CLOSE COMMAND						X	X					X	X	X		X	X					
6	RO LMP	RO-LOCAL MODE PERMISSION INDICATION	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Fuente: (Propia)

Los resultados totales fueron los siguientes:

**Tabla 12. Tabla de resultados**

DESCRIPCIÓN	ASIGNADAS	INSTALADOS
INSTRUMENTOS	85	60
CAJAS DE REGISTROS (JB)	8	8
TOTALES	93	68

Fuente: (Propia)

De un total de 85 instrumentos que deben ser instalados en la planta de tratamiento de agua, un total de 60 lograron ser instalados, cumpliendo con los parámetros de calidad, esto es un total del 70% del arte de instrumentación.

Además se instaló el 100% de las cajas de registro necesarias para energía y/o señales de los instrumentos hacia DCS.

**Tabla 13. Instrumentos pendientes de montar por cada área**

No	Tag	Description	Location	PID	Comments
1	OOLITE-1	DP Level transmitter	UF PERMEATE WATER TANK- LEVEL TRANSMITTER	UFPWT	Turn clockwise
2	000SE-1	Differential Pressure Switch	ACROSS MULTI GRADE FILTER-DPS	MGF	Pending erection
3	00PIE-6	Pressure Gauge	DISCHARGE OF MGF BLOWER B	B1-A&B	Pending erection
4	OOLSM-8	Level Switch	HCL DOSING TANK-LEVEL SWITCH LOW	DT-9	Installed in DT-3 but the correct place is DT-9
5	00PIE-8	Pressure Gauge	INLET OF BSF	BSF	Pending erection
6	00PIE-9	Pressure Gauge	UF PERMEATE HEADER	UF	Pending erection
7	00PIE-10	Pressure Gauge	UF REJECT HEADER DRAIN	UF	Pending erection
8	00PIE-11	Pressure Gauge	UF FEED HEADER DRAIN	UF	Pending erection
9	000PTE-1	Differential Pressure	ACROSS ULTRA FILTRATION MODULE-DPT	UF	Pending erection
10	OOFME03	EM Flow transmitter	UF REJECT- EM FLOW TRANSMITTER	UF	Pending erection
11	00HPSE-1	Pressure Switch	UF-REJECT HEADER DRAIN-PRESSURE SWITCH HIGH	UF	Pending erection
12	00HPSE-2	Pressure Switch	UF-BACK FLUSH INLET-PRESSURE SWITCH HIGH	UF	Pending erection
13	OOLSM-1	Level Switch	COAGULANT DOSING TANK-LEVEL SWITCH LOW	DT-1	Installed in DT-6 but the correct place is DT-1
14	00PSE-3	Pressure Switch	DISCHARGE OF BACK FLUSH PUMP-PRESSURE SWITCH	P3-A&B	Pending erection
15	OORME-1	Rota meter	DISCHARGE OF BACK FLUSH PUMP	P3-A&B	Pending erection
16	00PSE-4	Pressure Switch	DISCHARGE OF RO FEED PUMP-PRESSURE SWITCH	P4-A&B	Pending erection
17	OORME-2	Rota meter	DISCHARGE OF RO FEED PUMP	P4-A&B	Pending erection

Fuente: (Propia)

## **VI. CONCLUSIONES**

Esto no es más que la interpretación final de todos los datos ya analizados con los cuales se da por finalizado el proyecto, que ha sido un enorme intento de obtención de conocimientos. (Sabino, 1992)

Como resultado de capacitaciones, pruebas de campo, estudios teóricos sobre instrumentación industrial y el apoyo del personal del departamento de instrumentación, se logró realizar el 70% del pre-comisionamiento del arte de instrumentación para el control de la planta de tratamiento de agua para unidad 3 en BECOSA.

- Se elaboró un archivo digital y físico para control de calidad al momento de realizar próximos montajes e instalaciones de instrumentos de medición.
- Se crearon varios formatos de calibración para distintos instrumentos de medición de nivel, presión y flujo.
- Se elaboró y entregó un reporte final de los instrumentos pendientes de instalación por área de montaje.

## **VII. RECOMENDACIONES**

### **7.1 PARA LA EMPRESA**

Crear un cronograma básico de actividades necesarias para los practicantes de forma que se pueda tener un crecimiento exponencial a través del tiempo durante toda la estadía en la empresa.

Mejorar la respuesta por parte del departamento de Recursos Humanos para brindar los documentos solicitados por parte de la universidad en el tiempo correspondiente.

### **7.2 PARA LA UNIVERSIDAD**

Para el ingeniero mecatrónico en su desarrollo profesional es de vital importancia conocer muy bien el campo de la instrumentación industrial por lo cual integrar la enseñanza de los esquemas donde se registra toda la instrumentación (P&ID) sería de gran utilidad.

Mejorar los laboratorios de mecatrónica para abarcar más áreas como la de instrumentación industrial, en la cual se observa, analiza y controla muchos parámetros como flujo, temperatura, presión etc.

## VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Amo, M. S. del, & Molina, M. del R. P. (2014). *Manual práctico del operador de calderas industriales*. Ediciones Paraninfo, S.A.
- Bahamondes, P. A., & Oswald, W. D. (2016). Descripción de Calderas y Generadores de Vapor, 26.
- Gido, J., & Clements, J. P. (2012). *Successful project management* (5th ed). Mason, OH: South-Western.
- José M. Domínguez Cerdeira, Jaime Santiago Cid, Juan Uceda Martínez, & Pablo Garrido Otaola. (2013). *Guía Básica de Calderas Industriales Eficientes*. Graficas Arias Montano SA 28935 MÓSTELES (Madrid).
- Ojeda, D. J. C. (2012). NOTAS DEL CURSO ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS, 176.
- P. K. Nag. (2008). *Power Plan Engineering* (3rd ed.). New Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited.
- Pal, K. C. (2000). *Heat Power*. Orient Blackswan.
- R. Dean Wilson. (2008). *Boiler Operator's Workbook* (4.<sup>a</sup>, ilustrada ed.). American Technical Publishers, 2008.
- Rayaprolu, K. (2009). *Boilers for Power and Process*. CRC Press.
- Sabino, C. (1992). EL PROCESO DE INVESTIGACION, 134.
- Sierra, J. C., & Lara, D. R. (2011). TUTORIAL NORMA ISA S5.1 Y DIAGRAMAS P&ID, 80.
- SOLÉ, A. C. (2012a). *Instrumentación Industrial*. Marcombo.
- SOLÉ, A. C. (2012b). *Instrumentación Industrial*. Marcombo.


Spellman, F. (2003). *Handbook of Water and Wastewater Treatment Plant Operations*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780203489833>

Velasco, V. J. M. (2011). ESTADO DEL ARTE DE INSTRUMENTACIÓN Y ESTRUCTURAS DE CONTROL DE CALDERAS, 92.

Vickie G. Olson. (2017). Control optimizado de sistemas de tratamiento de aguas.



## IX. ANEXOS

Bijao Electric Company SA (BECOSA)							
Control & Instrumentation Department							
Calibration Protocol for Pressure Gauges							
Maker:							
Range:							
Serial Number:							
TAG:							
Last Calibration Date:							
New Calibration Date:							
<p>Before starting calibration, which is the value that the pressure gauge shows applying zero pressure?</p>							
<p>On the next table you can appreciate the values that the pressure gauge provided while increasing and decreasing the pressure applied to it against the calibration pressure gauge.</p>							
Increasing Pressure				Decreasing Pressure			
Pressure Applied in Calibration Pump		Pressure Measured by the Pressure Gauge		Pressure Applied in Calibration Pump		Pressure Measured by the Pressure Gauge	
Technician Incharge				Supervisor Incharge			

### Anexos 1. Formato para realizar calibración de manómetros

Fuente: (Propia)

Bijao Electric Company S.A. (BECOSA)									
C&I Department									
<b>Instrument calibration protocol</b>									
Type of instrument to calibrate:									
Differential Pressure Switch					<input type="checkbox"/>				
Low Pressure Switch					<input type="checkbox"/>				
Maker:									
Model:									
Serial No.:									
Range:									
TAG:									
Last calibration date:									
Actual calibration date:									
Set Point:									
Calibration results:									
Uphill					Downhill				
1					-				
2					-				
3					-				
4					-				
5					-				
								Yes	No
Instrument is suitable for operation								<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Supervisor					Técnico				

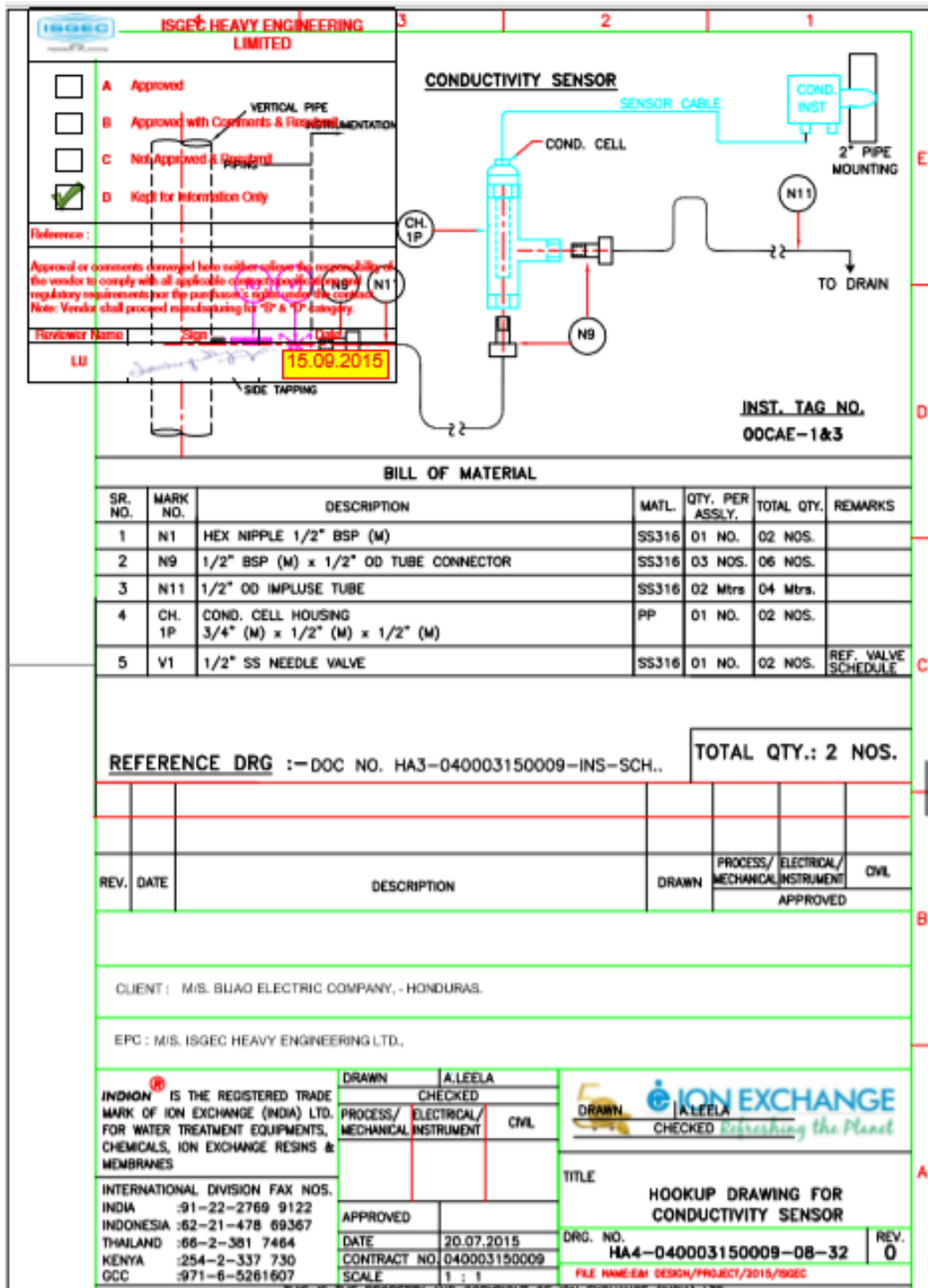
**Anexos 2. Formato para realizar calibración de interruptores de presión**

Fuente: (Propia)

Bijao Electric Company S.A. (BECOSA)									
C&I Department									
<b>Instrument calibration protocol</b>									
Type of instrument to calibrate:									
Flote Type Level Transmitter									
Maker:									
Model:									
Serial No.									
Range:									
TAG:									
Last calibration date:									
Actual calibration date:									
Span									
Zero									
Calibration results:									
	Uphill				Downhill				
1	-								
2	-								
3	-								
4	-								
5	-								
								Yes	No
Instrument is suitable for operation								<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

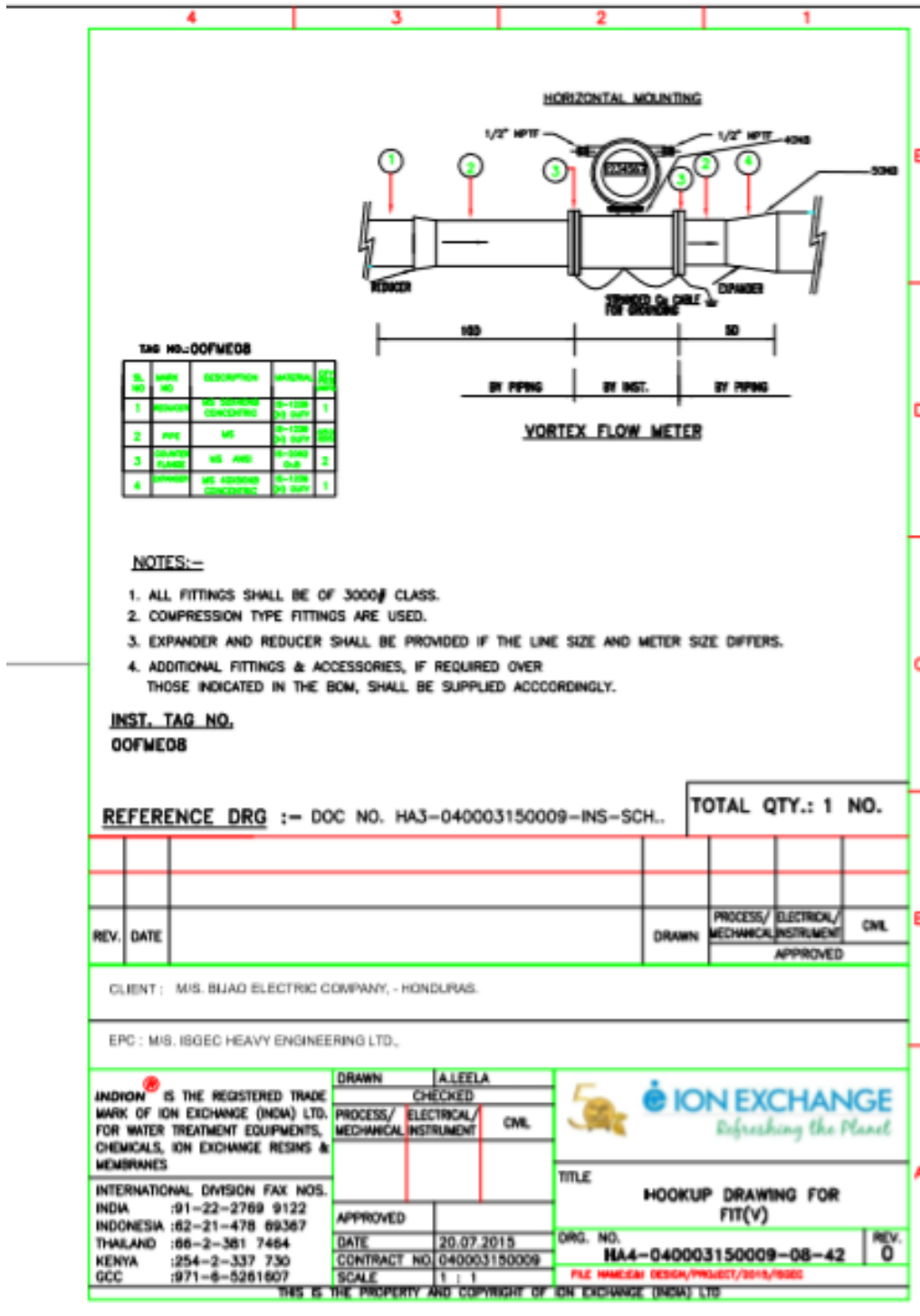
**Anexos 3. Formato para realizar calibración de transmisor de nivel**

Fuente: (Propia)



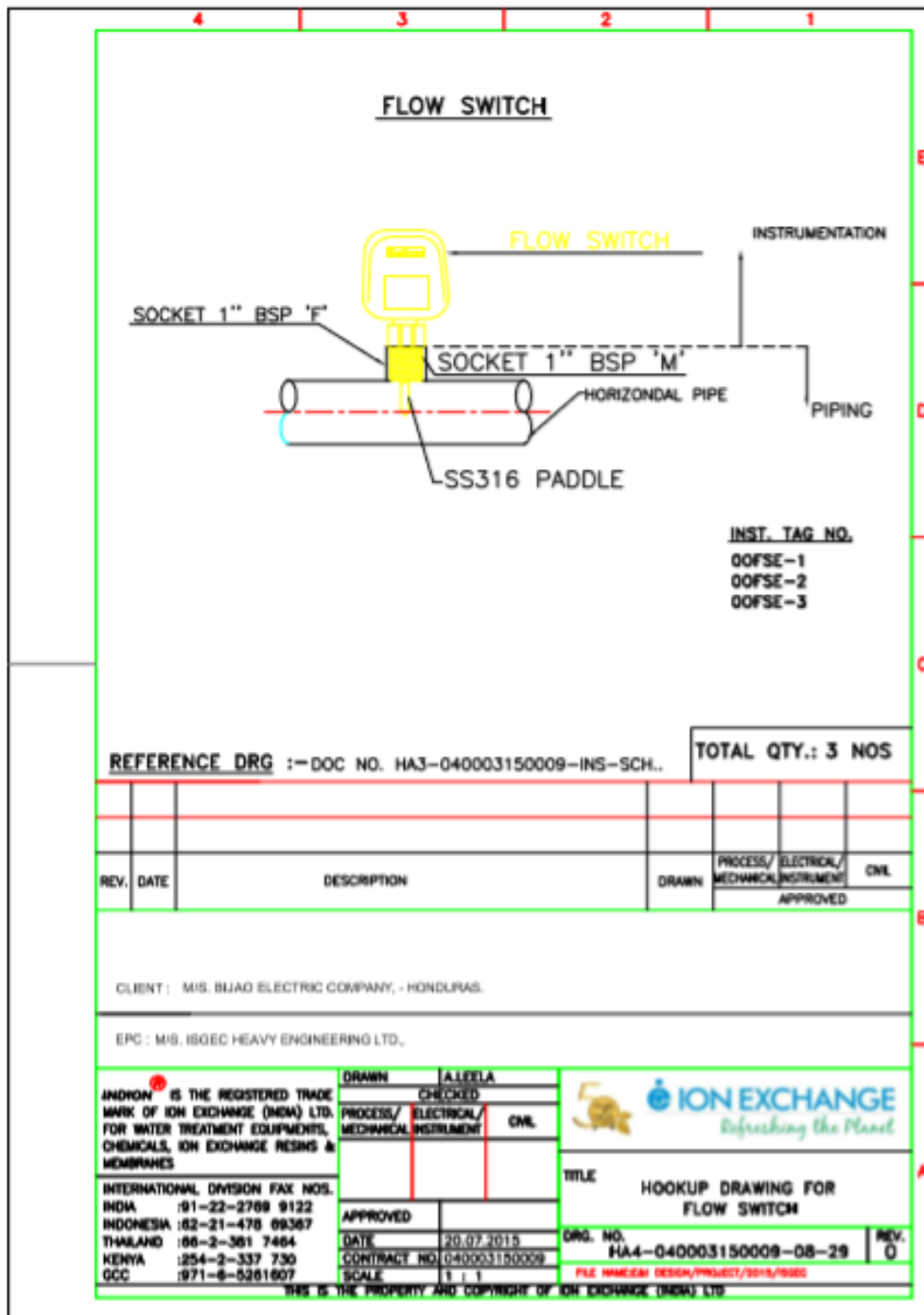
Anexos 4. Hoja técnica de correcta instalación sensor de conductividad

Fuente: (ISGEC)



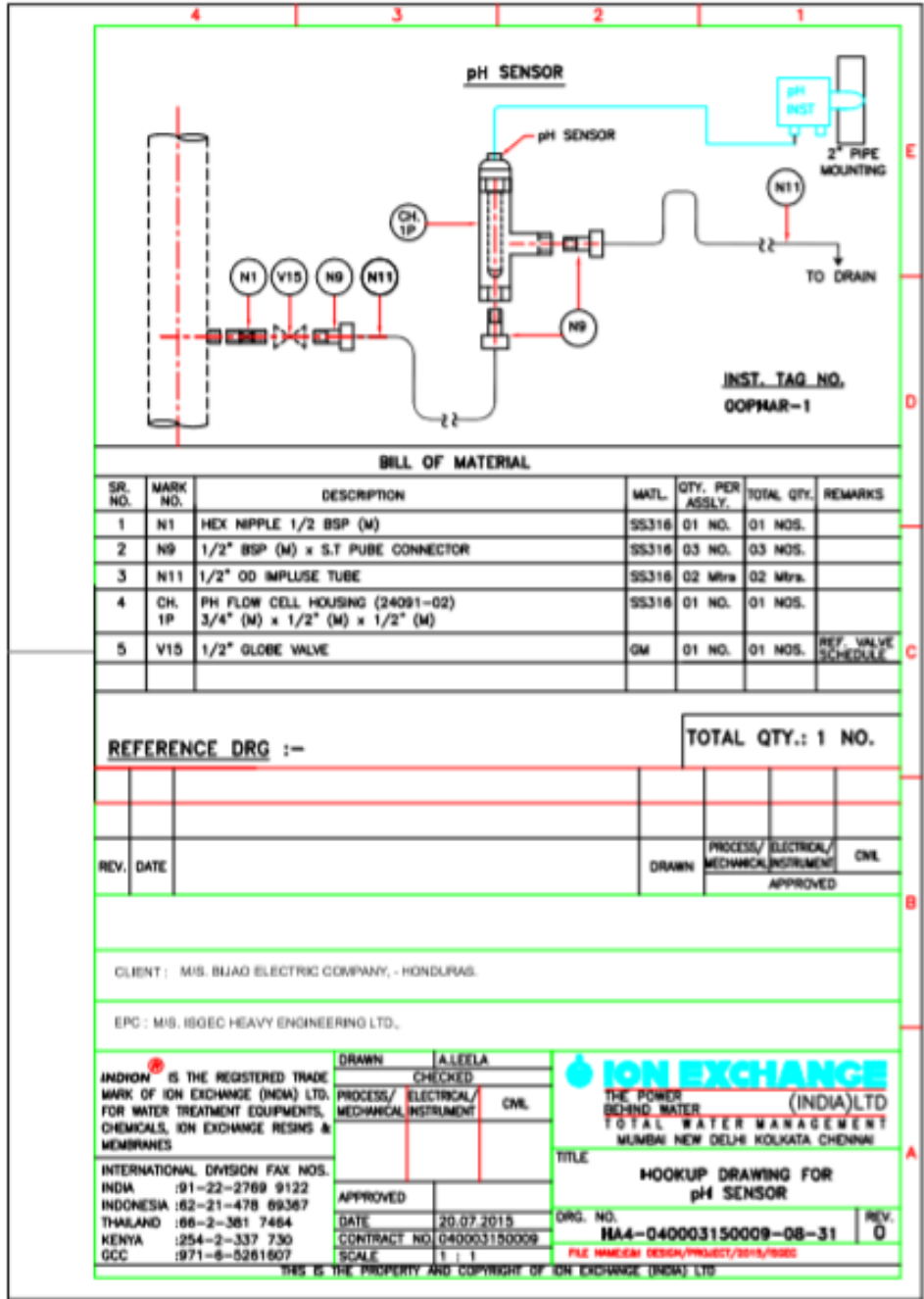
Anexos 5. Hoja técnica de correcta instalación transmisor de flujo

Fuente: (ISGEC)



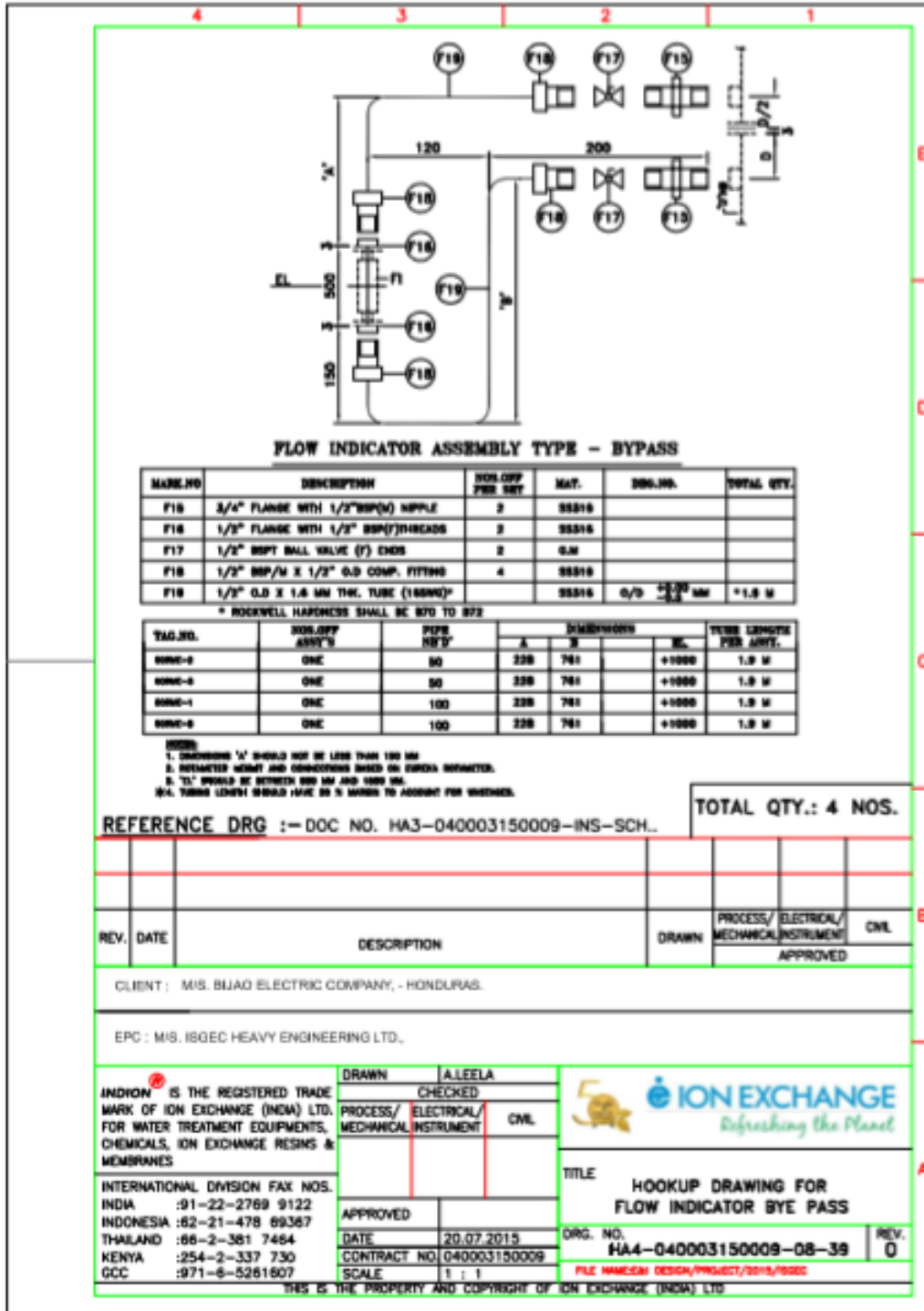
**Anexos 6. . Hoja técnica de correcta instalación interruptor de flujo**

Fuente: (ISGEC)



Anexos 7. Hoja técnica de correcta instalación sensor de pH

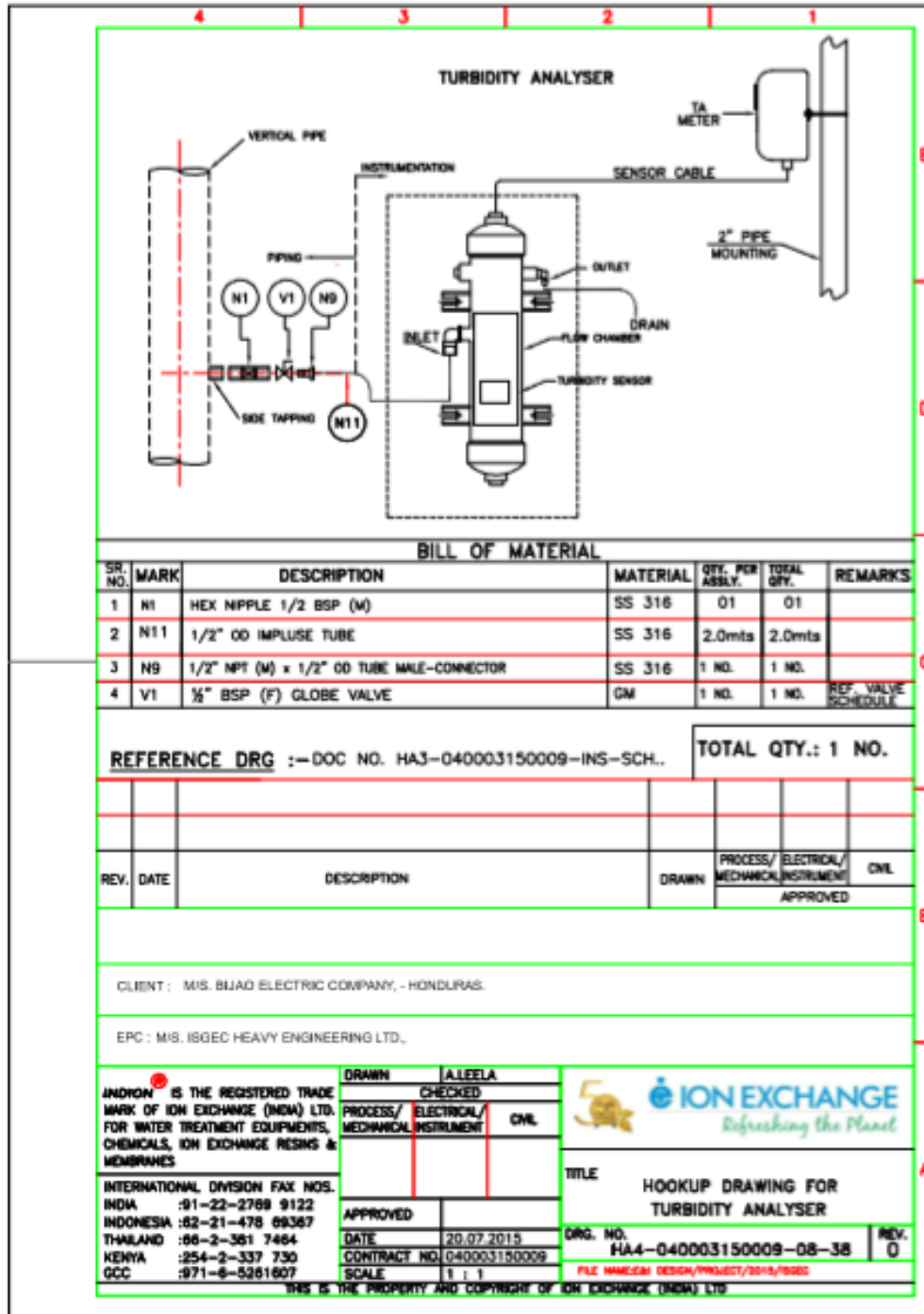
Fuente: (ISGEC)



Anexos 8. Hoja técnica de correcta instalación rotámetro

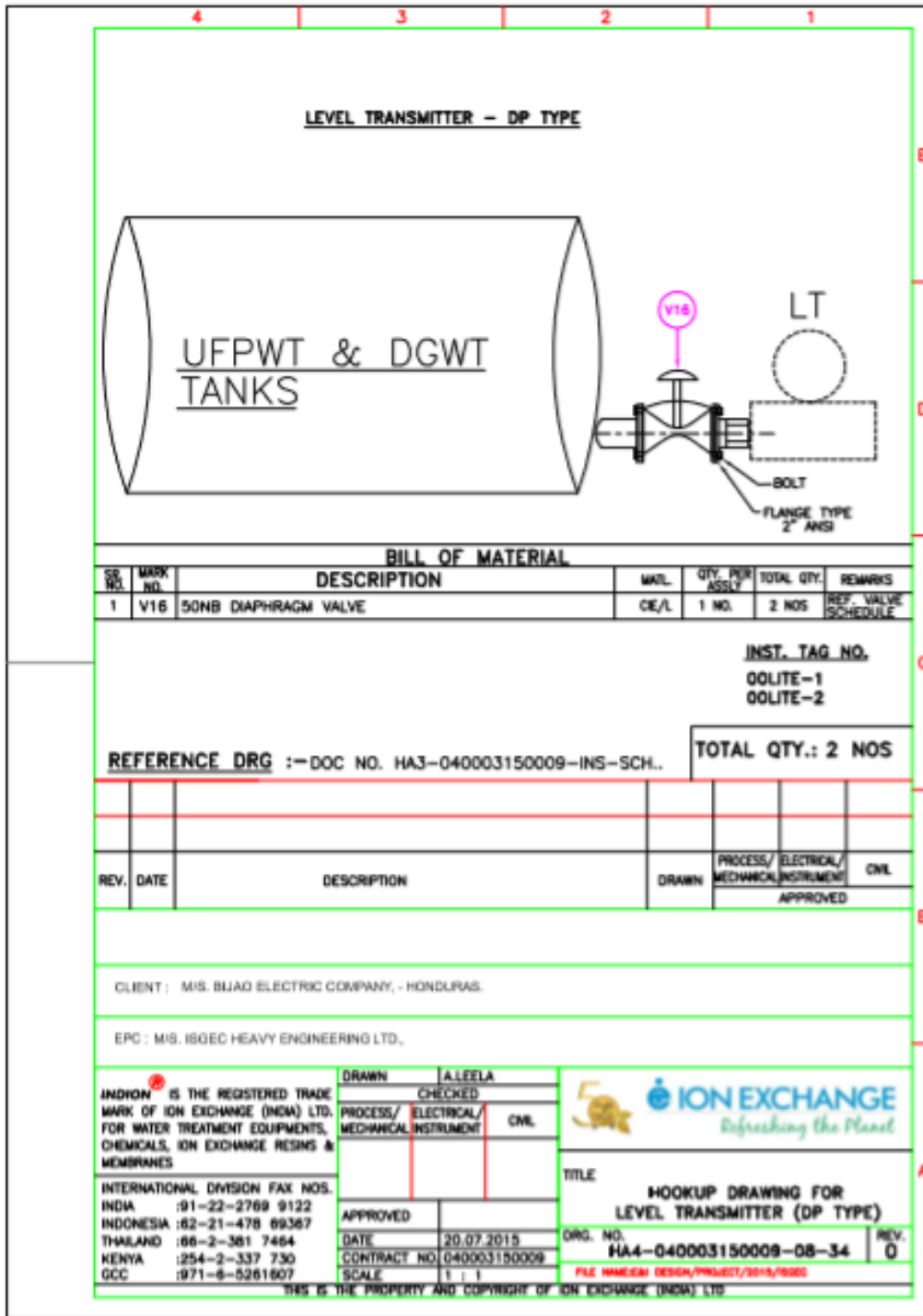
Fuente: (ISGEC)





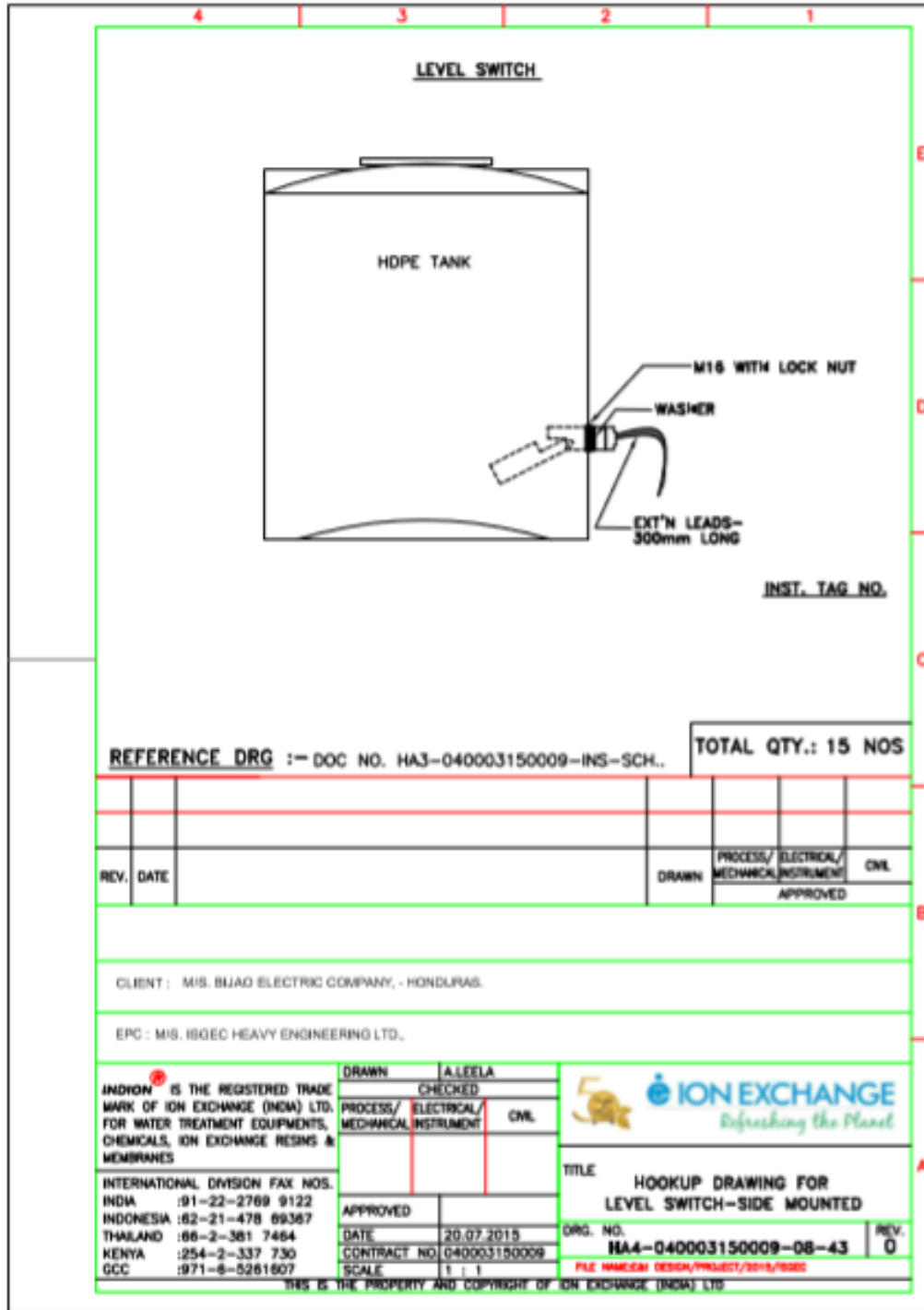
Anexos 9. Hoja técnica de correcta instalación sensor de turbidez

Fuente: (ISGEC)



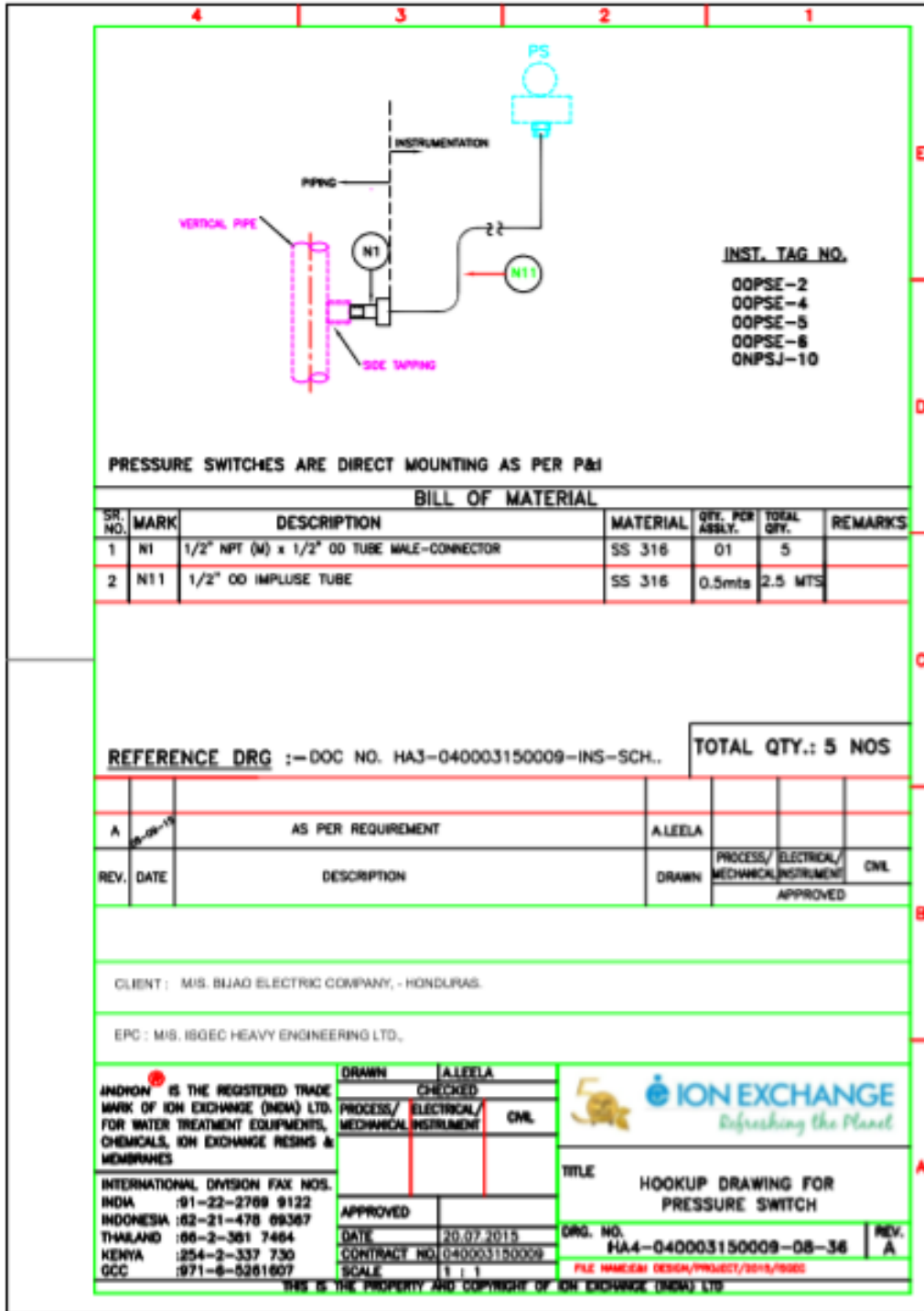
**Anexos 10. Hoja técnica de correcta instalación transmisor de nivel**

Fuente: (ISGEC)



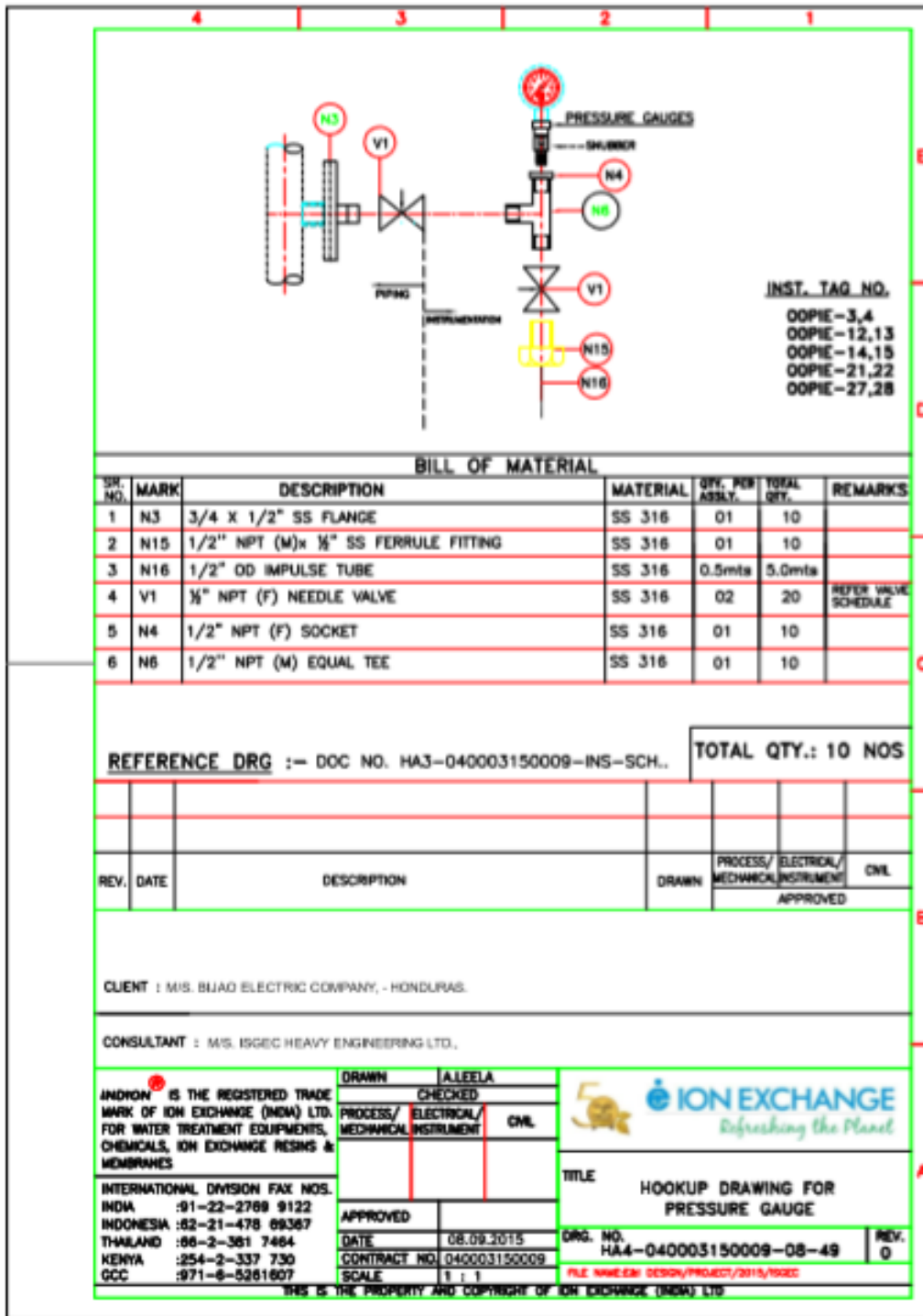
Anexos 11. Hoja técnica de correcta instalación interruptor de nivel

Fuente: (ISGEC)



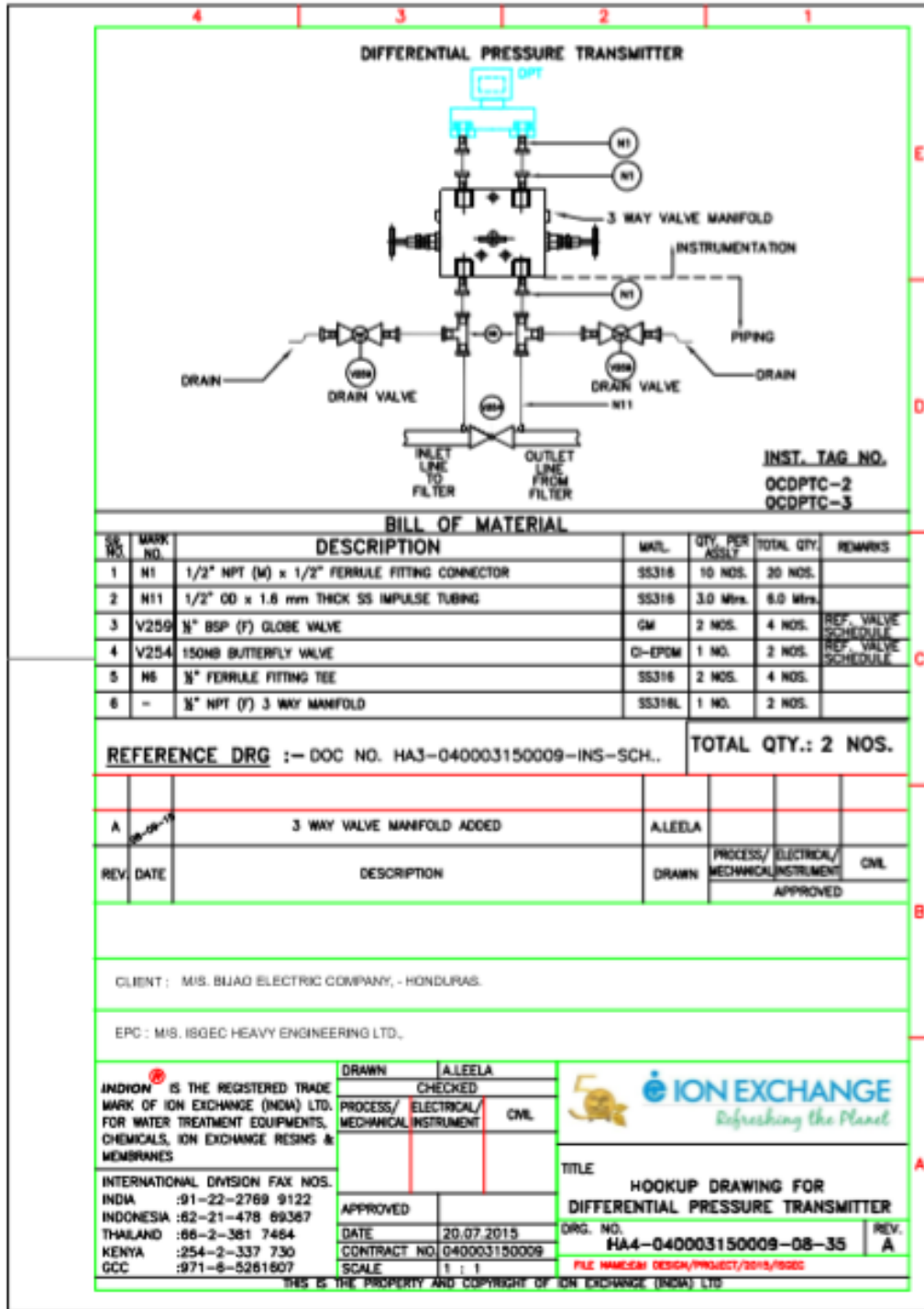
**Anexos 12. Hoja técnica de correcta instalación interruptor de presión baja o alta**

Fuente: (ISGEC)



Anexos 13. Hoja técnica de correcta instalación manómetro

Fuente: (ISGEC)



**Anexos 14. Hoja técnica de correcta instalación interruptor de presión diferencial**

Fuente: (ISGEC)



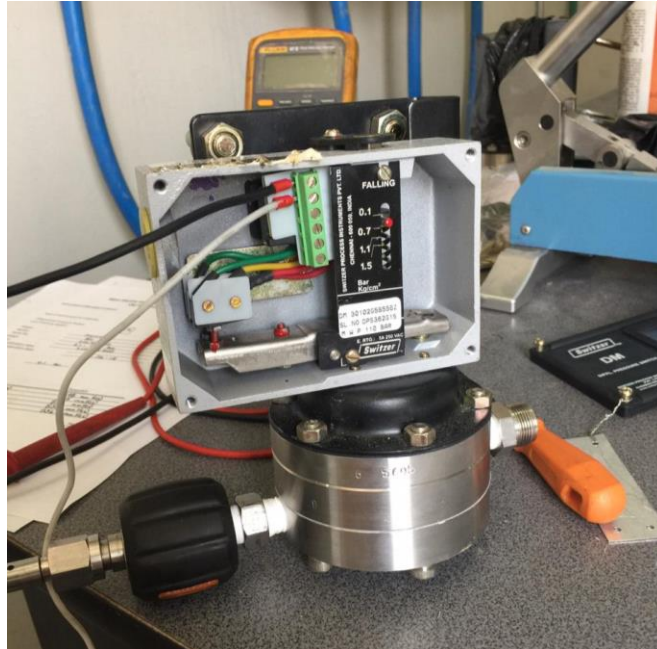
**Anexos 15. Edificio de WTP para unidad 3**

Fuente: (Propia)



**Anexos 16. Interruptor de presión diferencial instalado**

Fuente: (Propia)



**Anexos 17. Calibración de interruptores de presión baja**

Fuente: (Propia)



**Anexos 18. Calibrador digital de presión**

Fuente: (Propia)





**Anexos 19. Interruptores de presión baja instalados en área de UF**

Fuente: (Propia)



**Anexos 20. Adaptadores usados para la calibración de interruptores de presión**

Fuente: (Propia)



**Anexos 21. Montaje para calibración de interruptores de presión**

Fuente: (Propia)



**Anexos 22. Transmisor de nivel 00LITE-1 instalado correctamente en tanque de UF**

Fuente: (Propia)



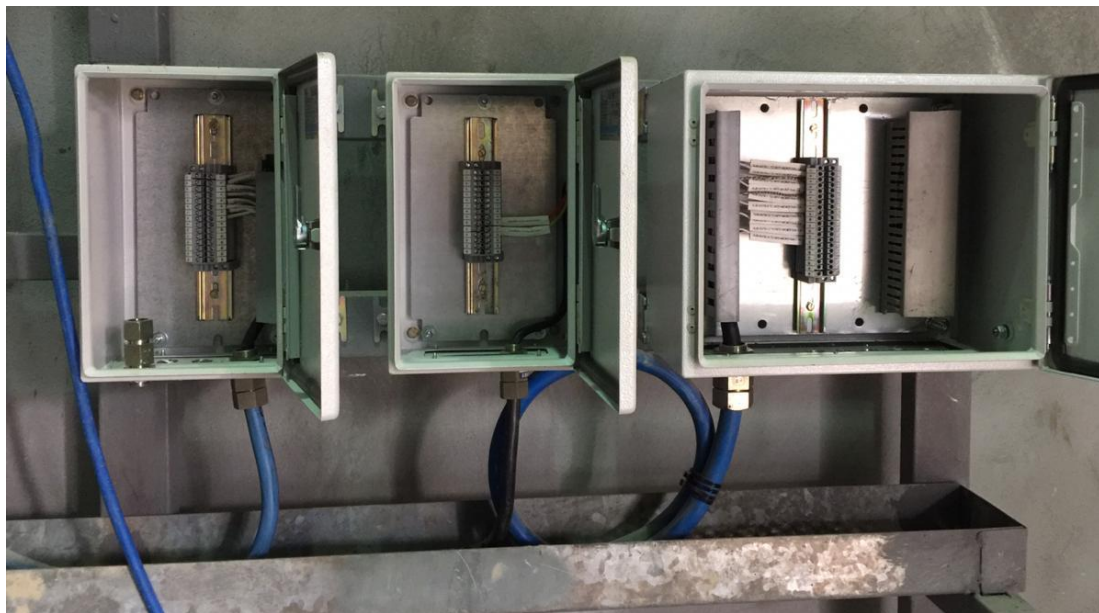
**Anexos 23. Transmisor de flujo 00FMR01 instalado en el área del filtro multigrado**

Fuente: (Propia)



**Anexos 24. ICJB-03, IPJB-04 e ISJB-03**

Fuente: (Propia)



**Anexos 25. Conexiones solo instrumentos de ICJB-03, IPJB-04 e ISJB-03**

Fuente: (Propia)



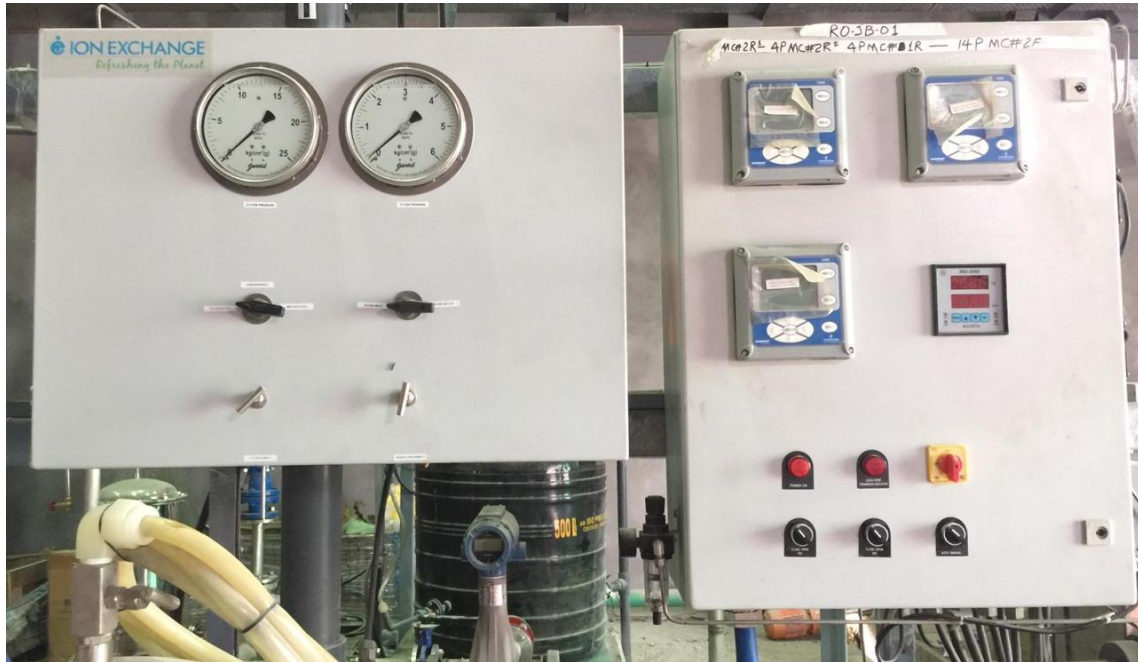
**Anexos 26. Indicador de nivel local tanque de NaCl**

Fuente: (Propia)



**Anexos 27. Indicadores y transmisor de nivel tanque desgasificador**

Fuente: (Propia)



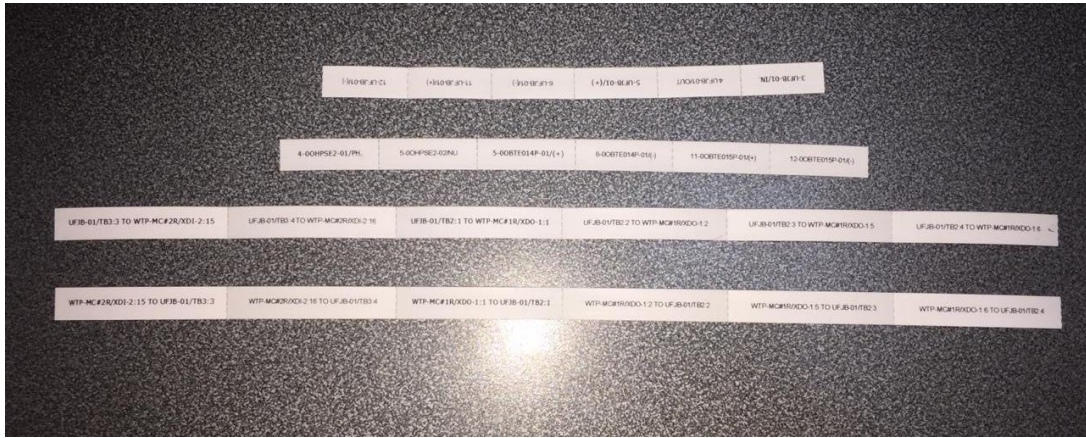
**Anexos 28. Manómetros y pantallas de sensores de pH, conductividad y temperatura en el área de ósmosis inversa**

Fuente: (Propia)



**Anexos 29. Base para sensores de pH, conductividad y temperatura en área de ósmosis inversa**

Fuente: (Propia)



### Anexos 30. Etiquetas para instrumentos e ISJB-01

Fuente: (Propia)



### Anexos 31. Manómetros instalados en el área del desgasificador

Fuente: (Propia)





**Anexos 32. Transmisor de presión instalado y cableado**

Fuente: (Propia)



**Anexos 33. Rotámetro instalado en área de lecho mixto**

Fuente: (Propia)



**Anexos 34. Unidades 1 y 2 BECO SA**

Fuente: (Propia)