# UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

# SEDE QUITO

**CARRERA:**

**INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:**

**INGENIEROS ELECTRÓNICOS**

**TEMA:**

**AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN AWT. SA.**

**AUTORES:**

**FREDDY RENATO CÁRDENAS CHÁVEZ**

**JOSÉ RAFAEL CATAGÑA CARVAJAL**

**TUTOR:**

**WALTER EDWIN TAIPE VILAÑA**

**Quito, enero del 2016**

**Cesión de derechos de autor**

Nosotros Freddy Cárdenas con documento de identificación N° 1723703789 y Rafael Catagña con documento de identificación N° 1714353966, manifiestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: "Automatización del procesos de aguas residuales en AWT.SA.", mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Electrónico en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

| | |
|---|---|
| ..... | ..... |
| Freddy Renato Cárdenas Chávez | José Rafael Catagña Carvajal |
| 1723703789 | 1714353966 |

Quito, enero del 2016

**Declaratoria de coautoría del docente tutor/a**

Yo, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación **AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN AWT. SA.** realizado por Freddy Renato Cárdenas Chávez y José Rafael Catagña Carvajal, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, enero del 2016

Walter Edwin Taipe Vilaña
CI: 1713849105

**Agradecimientos**

A la gerencia general y todo el personal que conforma la empresa AWT. SA., por brindar su apoyo incondicional y facilitar la información necesaria para el buen desarrollo del proyecto.

Freddy y Rafael

A mis padres Rafael y María Zoila, por su apoyo incondicional en todo momento, por ser mi guía para alcanzar mi meta, por todos los consejos que me han brindado y por enseñarme que todo sacrificio tiene su recompensa.

A mis hermanos y amigos por formar parte de esta meta cumplida sin sus palabras y apoyo este camino habría sido más difícil.

José Rafael Catagña Carvajal

Dedico este trabajo a los pilares fundamentales de mi vida quienes fueron y serán siempre mi inspiración para alcanzar mis metas:

A la memoria de mi padre Fredi Gustavo, quien supo enseñarme el valor de luchar por un sueño. A mi madre Patricia por brindarme su apoyo incondicional, a mis hermanos Miguel y Andrés quienes supieron apoyarme en cada paso de este arduo camino.

A mis amigos con quienes he compartido gratas experiencias y han sido guía en momentos difíciles, los cuales los he superado con su ayuda para poder alcanzar esta tan añorada meta.

A todos ustedes gracias.

Freddy Renato Cárdenas Chávez

# Índice

Introducción ..... 1
Capítulo 1 ..... 3
Estado del arte ..... 3
1.1 Automatización de plantas industriales ..... 3
1.1.1 Instrumentación ..... 3
1.1.1.1 Función del instrumento ..... 4
1.1.1.2 Función de la variable ..... 4
1.1.1.3 Identificación de los instrumentos ..... 6
1.1.2 Controlador lógico programable - PLC ..... 6
1.1.3 Interface humano máquina - HMI ..... 7
1.1.4 Sistemas de control de motores industriales ..... 8
1.1.4.1 Tipos de control ..... 8
1.2 Sistema eléctrico ..... 9
1.2.1 Niveles de voltaje ..... 9
1.2.2 Distribución de energía eléctrica en bajo voltaje ..... 9
1.2.3 Fallas en el sistema eléctrico ..... 10
1.2.3.1 Elementos de protección para sobrecorriente ..... 10
1.2.4 Diagramas de control de motores eléctricos ..... 11
1.3 Motores eléctricos de corriente alterna de bajo voltaje ..... 11
1.3.1 Placa de un motor eléctrico ..... 12
Capítulo 2 ..... 13
Desarrollo técnico del proyecto ..... 13
2.1 Parámetros de proceso ..... 13
2.2 Descripción del proceso ..... 13
2.2.1 Tanque de captación T-1970-Y-1 ..... 14
2.2.2 Tamiz TZ-1970-Y-1 ..... 15
2.2.3 Tanque de aireación de aguas residuales T-1970-Y-3 ..... 16
2.2.4 Tanque de sedimentación T-1970-Y-4 ..... 17
2.2.5 Tanque de contacto de cloración T-1979-Y-5 ..... 18
2.2.6 Tanque de almacenamiento de hipoclorito T-1970-Y-6 ..... 19
2.2.7 Tanque de prefiltración T-1970-Y-7 ..... 19
2.2.8 Filtro de sedimentos F-1900-Y-1 ..... 21

2.2.9 Tanque biodigestor de lodos T-1970-Y-2 ..... 21
2.2.10 Tanque de retrolavado T-1970-Y-8 ..... 22
2.3 Diseño del sistema eléctrico ..... 23
2.3.1 Diseño del circuito de fuerza o potencia ..... 23
2.3.2 Diseño del tablero de distribución eléctrico X-10001-PP ..... 24
2.3.3 Diseño circuito de control o de mando ..... 25
2.4 Criterios para la selección de equipos eléctricos ..... 26
2.4.1 Criterio para la selección del transformador seco ..... 26
2.4.2 Criterio para la selección del disyuntor general ..... 29
2.4.3 Criterio para la selección del contactor electromagnético ..... 30
2.4.4 Criterios para la selección del guardamotor ..... 31
2.4.5 Dimensionamiento de cables de fuerza ..... 32
2.5 Bases y criterios para el diseño de instrumentación y control ..... 33
2.5.1 Conexión de instrumentos digitales y análogos ..... 33
2.5.2 Diseño del tablero de control X-10001-CP ..... 33
2.5.3 Alarmas ..... 34
2.6 Transmisores, sensores y controladores ..... 34
2.6.1 Controlador de oxígeno disuelto AI-0111-1B y PH AI-0110-1A ..... 34
2.6.2 Sensor de oxígeno disuelto y PH ..... 36
2.6.3 Analizador de cloro libre residual AI-0112-1C ..... 37
2.6.4 Transmisor indicador de flujo FIT-0109-1A ..... 37
2.6.5 Transmisor indicador de nivel LIT-0113-1A ..... 38
2.6.6 Indicador de presión diferencial PDI-0116-1A ..... 38
2.6.7 Transmisor de presión PIT-0103-1A/ 0104-1B/ 0105-1C/ 0106-1D/ 0107-1E 39
2.6.8 Instrumentos para medición de nivel ..... 40
2.7 Controlador lógico programable - PLC ..... 40
2.7.1 Diagramas de flujo del sistema de control ..... 42
2.8 Panel view ..... 42
2.8.1 Creación de las páginas de visualización para la HMI ..... 43
2.9 Tuberías eléctricas ..... 47
Capítulo 3 ..... 48
Montaje de equipos, pruebas y resultados ..... 48
3.1 Montaje de tableros eléctricos X-10001-PP y X-10001-CP ..... 48
3.1.1 Montaje del tablero de distribución eléctrico X-10001-PP ..... 48

3.1.2 Montaje del tablero de control X-10001-CP ..... 50
3.2 Montaje y conexión del controlador de OD y PH ..... 52
3.3 Montaje y conexión del analizador de cloro ..... 55
3.4 Montaje y conexión del transmisor indicador de nivel ..... 56
3.5 Puesta en marcha de controladores ..... 57
3.6 Pruebas de inspección y operación de la planta ..... 58
3.7 Montajes y pruebas realizadas en campo ..... 60
3.7.1 Montaje de transformador seco ..... 60
3.7.2 Montaje de las bombas sumergibles del tanque de captación ..... 62
3.7.3 Validación de calibración de transmisores de presión ..... 62
3.7.4 Pruebas de validación de controladores y sensores ..... 64
Conclusiones ..... 66
Recomendaciones ..... 68
Lista de referencias ..... 70
Anexos ..... 72

## Índice de figuras

Figura 1. Esquema de control para motores eléctricos ..... 11
Figura 2. Proceso de tratamiento de las aguas residuales ..... 14
Figura 3. Tanque de captación ..... 15
Figura 4. Tamiz ..... 15
Figura 5. Tanque de aireación de aguas residuales ..... 17
Figura 6. Tanque de sedimentación ..... 18
Figura 7. Tanque de contacto de cloración ..... 18
Figura 8. Tanque de almacenamiento de hipoclorito ..... 19
Figura 9. Tanque de prefiltración ..... 20
Figura 10. Filtro de sedimentos ..... 21
Figura 11. Tanque biodigestor de lodos ..... 22
Figura 12. Tanque de retrolavado ..... 22
Figura 13. Sistema eléctrico de potencia ..... 23
Figura 14. Arquitectura de control ..... 33
Figura 15. Tanque de almacenamiento de agua ..... 43
Figura 16. Ingreso de aguas residuales a tamiz TZ-1970-Y-1 ..... 44
Figura 17. Tanque de aireación de aguas residuales ..... 44
Figura 18. Cámara de desinfección ..... 45
Figura 19. Proceso de prefiltrado ..... 45
Figura 20. Historial de alarmas ..... 46
Figura 21. Elementos externos del tablero eléctrico X-10001-PP ..... 48
Figura 22. Elementos internos del tablero eléctrico X-10001-PP ..... 49
Figura 23. Elementos externos del tablero de control X-10001-CP ..... 50
Figura 24. Módulo de PH y oxígeno disuelto ..... 53
Figura 25. Configuración del módulo SC-200 ..... 54
Figura 26. Conexión de salidas analógicas ..... 54
Figura 27. Montaje del controlador de PH y OD ..... 55
Figura 28. Montaje del analizador de cloro ..... 56
Figura 29. Montaje del transmisor indicador de nivel ..... 56
Figura 30. Conexión del transmisor indicador de nivel ..... 57
Figura 31. Montaje en campo transformador seco ..... 60
Figura 32. Pruebas de medición ..... 61

Figura 33. Montaje de bombas sumergibles ..... 62
Figura 34. Pruebas de comprobación de calibración ..... 63
Figura 35. Analizador de pH ..... 64
Figura 36. Pruebas de cloro residual ..... 65

## Índice de tablas

Tabla 1. Límites permisibles para descargas de aguas negras y grises ..... 13
Tabla 2. Datos técnicos de bombas eléctricas ..... 24
Tabla 3. Análisis de cargas ..... 27
Tabla 4. Tabla de selección de contactores ..... 30
Tabla 5. Dimensionamiento de contactores ..... 31
Tabla 6. Dimensionamiento de guardamotores ..... 32
Tabla 7. Especificaciones Hach Lage SC200 ..... 35
Tabla 8. Especificaciones del módulo para PH ..... 35
Tabla 9. Especificaciones del módulo para OD (oxígeno disuelto) ..... 36
Tabla 10. Especificaciones del sensor de oxígeno disuelto ..... 36
Tabla 11. Especificaciones del sensor de PH ..... 36
Tabla 12. Especificaciones del analizador de cloro residual ..... 37
Tabla 13. Especificaciones del transmisor indicador de flujo ..... 38
Tabla 14. Especificaciones del transmisor indicador de nivel ..... 38
Tabla 15. Especificaciones del indicador de presión diferencial ..... 39
Tabla 16. Especificaciones de transmisión de presión ..... 40
Tabla 17. Especificaciones PLC Micrologix 1400 1766-L32BWA ..... 41
Tabla 18. Especificaciones del módulo de entradas digitales ..... 41
Tabla 19. Especificaciones del módulo de entradas análogas ..... 42
Tabla 20. Especificaciones técnicas del panel view ..... 42
Tabla 21. Porcentaje útil en ductos para cables eléctricos ..... 47
Tabla 22. Tubería eléctrica ..... 47
Tabla 23. Tipo de cable empleado para instrumentación ..... 51
Tabla 24. Cableado del sensor de PH ..... 52
Tabla 25. Cableado del sensor de oxígeno disuelto ..... 53
Tabla 26. Muestras de PH ..... 57
Tabla 27. Muestras de oxígeno disuelto ..... 58
Tabla 28. Pruebas en transmisor de presión ..... 64
Tabla 29. Mediciones de PH ..... 64
Tabla 30. Medición de oxígeno disuelto ..... 65
Tabla 31. Medición de cloro residual ..... 65

**Anexos**

Anexo 1. Simbología de instrumentos ..... 72
Anexo 2. Diseño del diagrama unifilar ..... 74
Anexo 3. Diseño de tablero eléctrico ..... 75
Anexo 4. Condiciones de encendido y apagado de motores ..... 76
Anexo 5. Diseño de diagramas de control para arranque de bombas en modo manual y automático ..... 78
Anexo 6. Hoja de datos y pruebas de transformador seco ..... 88
Anexo 7. Dimensionamiento de cables eléctricos para alimentación a motores eléctricos ..... 92
Anexo 8. Diseño de los diagramas de conexión para la conexión de instrumentos análogos y digitales ..... 93
Anexo 9. Diseño del tablero de control ..... 99
Anexo 10. Alarmas ..... 100
Anexo 11. Diagramas de flujo del sistema de control ..... 101
Anexo 12. Marquillado de cables en tablero eléctrico ..... 107
Anexo 13. Pruebas realizadas en fábrica ..... 111
Anexo 14. Pruebas aprobadas por AWT. SA. ..... 114

## Resumen

El agua, el líquido indispensable que hace posible el desarrollo de la vida humana, animal y vegetal; sin embargo, también es utilizado en el sector doméstico e industrial donde se ve expuesta a la mezcla con materiales biodegradables y materiales que contienen químicos generando así las denominadas aguas residuales, las cuales tras su desecho provocan un impacto ambiental que afecta a la naturaleza y la salud de la población humana y animal.

El tratamiento de aguas residuales ha venido tomando fuerza en los últimos años en el estado ecuatoriano, mediante leyes que regulan los parámetros técnicos del agua en conjunto con métodos en los que intervienen equipos eléctricos y electrónicos de control, los cuales brindan un avance tecnológico muy importante en la supervisión, control y cumplimiento de los parámetros establecidos por las leyes ambientales ecuatorianas.

El proyecto presentado a continuación desarrolla el sistema de automatización de una planta de tratamiento de aguas residuales para la empresa AWT. SA., proyecto que contempla dos fases: la primera es la fase de diseño donde se toma en consideración los parámetros necesarios que deben intervenir en cada etapa del proceso basándose en normas técnicas eléctricas y electrónicas, además de considerar los requerimientos expuestos en la legislación ambiental ecuatoriana RAOH 1215, para así seleccionar los equipos eléctricos y electrónicos que deben intervenir en el proceso; la segunda es la fase de construcción y puesta en marcha del proyecto donde se realiza la implementación, supervisión y control de todos los parámetros que intervienen en el diseño para finalmente presentar los resultados obtenidos dentro del proceso.

## Abstract

Water, vital liquid that possible makes the development of human, animal and plant; however, it is also used in the domestic and industrial sector which is exposed to the mixture of biodegradable materials and materials that contain chemicals generating so-called wastewater, after disposal this cause an environmental impact that affects the nature and health of human and animal population.

The wastewater treatment has been gaining strength in recent years in the Ecuadorian state, through laws that regulate the technical parameters of water in conjunction with methods involved some electrical and electronic control equipment, which provide an important technological advance in monitoring, control and compliance with the parameters established by the Ecuadorian environmental laws.

The project presented below develops the automation system treatment plant wastewater to the company AWT. SA. project includes two phases. The first phase is the design which takes into consideration the necessary parameters to be involved in each stage process based on electrical and electronic technical standards as well as considering the requirements set forth in the Ecuadorian environmental legislation RAOH 1215 in order to select electrical and electronic equipment should be involved in the process; the second is the construction phase where the implementation, supervision and control of all parameters involved in the design and to finally present the results obtained in the process.

# Introducción

El presente trabajo de titulación desarrollará el sistema de automatización para una planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa AWT. SA., partiendo del proceso presentado por parte de dicha empresa, que consta de varias etapas para que así el agua efluente cumpla con los parámetros ambientales solicitados por la empresa y por la legislación ambiental ecuatoriana RAOH 1215.

La planta se encargará de la medición de PH (potencial hidrógeno), oxígeno disuelto, cloro residual y presión de trabajo de las bombas, mediante sensores, transmisores y controladores.

La planta estará constituida por motores eléctricos alimentados a 220 [V] y 110 [V] en corriente alterna; para los motores se ha solicitado un arranque directo comandado mediante contactores y protegidos frente a fallas eléctricas por guardamotores, además de la instalación de sensores como protección para la operación de bombas con el fin de asegurar que las mismas sean operadas siempre sobre el nivel mínimo de fluido cuidando así la integridad mecánica de las bombas.

La planta contará con dos modos de funcionamiento: modo manual y automático; para el modo manual el operador podrá controlar las bombas a voluntad previamente verificando que se cumplan todos los parámetros del proceso y para el modo automático el control de las bombas se lo realizará bajo el mando de un controlador lógico programable - PLC. Mediante una HMI (Human Machine Interface), se podrá visualizar las variables y eventos de alarma en caso de falla con la finalidad de disminuir errores humanos.

En el proyecto de titulación se abarca los siguientes capítulos:

Capítulo 1: Se realiza el estudio del estado del arte el cual abarca las definiciones para el desarrollo del proyecto.

Capítulo 2: Se presenta el estudio de cada una de las etapas del proceso del tratamiento de aguas residuales, el diseño eléctrico, de instrumentación y control para la automatización de la planta de tratamiento de agua; así como los cálculos de los elementos que intervienen en el proyecto.

Capítulo 3: Se describe el montaje de equipos de instrumentación y gabinetes eléctricos. Se presentan las pruebas realizadas en la planta en cada una de sus etapas, se realiza la configuración y programación del PLC, así como del panel táctil para el sistema HMI.

# Capítulo 1

# Estado del arte

En este capítulo se realiza una descripción de los conceptos más relevantes e importantes, los cuales son la base del desarrollo del proyecto.

## 1.1 Automatización de plantas industriales

La automatización industrial es el punto donde convergen un gran grupo de ingenierías como son: química, mecánica, eléctrica, comunicaciones y electrónica, el grado de conocimiento, experiencia además de una buena coordinación entre todas las áreas permiten desarrollar un proyecto de alta calidad.

La automatización ha ido atravesando una gran evolución desde sus inicios donde dependía netamente de los operadores para controlar y supervisar las variables de proceso lo que implicaba que siempre debían permanecer cerca de la planta, en la actualidad se cuenta con instrumentación electrónica, sistemas que permiten realizar un control óptimo, controladores lógicos programables, HMI (Interface humano máquina), etc., con lo cual se ha mejorado la calidad de supervisión y control de los procesos.

### 1.1.1 Instrumentación

La instrumentación y control aplicada a los diferentes procesos de la industria ayuda a definir el nivel necesario para la automatización que requiere una instalación industrial (Maraña, 2005, pág. 3).

La instrumentación tiene por objeto captar la medida, transmitirla a distancia, registrar y controlar los datos que sean de interés para el control y automatización del proceso. En una planta de tratamiento de aguas residuales la mayoría de veces se considera un control por lazo abierto pues su correcto funcionamiento no depende netamente de las mediciones tomadas por los instrumentos, también dependen de mediciones de parámetros analizados en laboratorios, los cuales determinarán algún tipo de alteración en la operación y funcionamiento de la planta (González Olbarría, 2013, pág. 395).

Se tiene dos clasificaciones para los instrumentos aplicados a la industria:

- Por la función que cumple el instrumento
- Por la variable que interviene en el proceso.

#### 1.1.1.1 Función del instrumento

En función del instrumento se tiene la siguiente clasificación:

- Los *instrumentos primarios* están directamente relacionados con la variable del proceso, la cual genera una señal que será transformada y procesada por los instrumentos secundarios.
- *Los sensores* son aquellos que captan la variable de proceso y envían una señal de salida estandarizada.
- *Los transmisores* son los encargados de captar todas las variables presentes en el proceso por medio de los dispositivos primarios, para luego transmitir las señales neumáticas (3 a 15 [psi]) o eléctrica de (4 a 20 [mA]).
- *Los controladores* son los encargados de realizar una comparación entre la variable controlada y un valor deseado para ejercer una pronta acción de corrección en caso de existir una desviación.

#### 1.1.1.2 Función de la variable

- **Instrumento para la medición de presión**

Basados en la norma ISA-S5.1-84 (R-1992) este instrumento se denomina PIT (indicador transmisor de presión) el cual se considera un instrumento primario por estar montado directamente en la tubería asociada al proceso, posee un display donde muestra la variable medida, la señal que transmite es del tipo eléctrica de 4-20 [mA] y su exactitud corresponde al +- 0,5%.

- **Instrumento para la medición de flujo**

También llamado flujómetro o caudalímetro es un instrumento que sirve para medir el caudal en sistemas hidráulicos, al ser necesario conectarlo sobre la tubería de proceso se considera como un instrumento primario, los hay de varias formas: ultrasónicos, por conteo de pulsos, de señal eléctrica, indicadores mecánicos, etc.

- **Instrumento de medición para el nivel de líquidos**

Este instrumento permite la medición de nivel de un fluido dentro de un tanque, cuenta con una exactitud de +- 0,2 %. Su trabajo lo realiza midiendo la altura del líquido sobre una línea de referencia, midiendo el desplazamiento que sufre un flotador por el líquido contenido en el tanque o utilizando las características eléctricas que posee el líquido.

"Los instrumentos que aprovechan las características eléctricas del líquido son los medidores de radiación, radar o microondas, láser, capacitivo, ultrasónico, radar o microondas, láser y resistivo" (Creus, 2010, pág. 195).

El instrumento más usado es el ultrasónico, su funcionamiento se basa en el retorno de pulso de sonido el cual rebota y es procesado por el mismo sensor midiendo el tiempo de respuesta que es proporcional a la altura vacía del tanque generando una señal eléctrica de 4 a 20 [mA].

- **Instrumento de medición para el oxígeno disuelto**

Este instrumento permite la medición de la cantidad de oxígeno libre que se encuentra en el agua y no se ha llegado a combinar con el hidrógeno o los sólidos existentes, debido a que la presencia de oxígeno en el agua es muy importante para la conservación de la vida marina y por tanto su medida como el procesamiento debe ser casi exactos, la medición de oxígeno disuelto se la realiza en ppm (partes por millón) o mg/l (miligramos sobre litro). También se considera como un instrumento primario ya que va asociado directamente con el proceso y genera una señal eléctrica de 4-20 [mA] (Creus, 2010, p. 364).

- **Instrumento de medición para el PH**

Este instrumento realiza la medición de las propiedades de PH de un líquido, como son la acidez o alcalinidad del agua con compuestos químicos disueltos. Un aspecto importante que se debe considerar en la selección de un instrumento medidor de PH es su exactitud y el trabajo en temperaturas elevadas ya que el PH se ve afectado por la temperatura del ambiente. Se considera como un elemento primario no ciego y generador de señal eléctrica de 4 a 20 [mA] (Creus, 2010, p. 370).

#### 1.1.1.3 Identificación de los instrumentos

Para la presentación e identificación de instrumentos de control en un diagrama esquemático se debe acudir a normas las cuales permiten tener una guía específica y entendible para cualquier tipo de procesos. Entre las entidades más importantes que llevan la labor de normalizar dicha identificación destacan, la ISA (Instrument Society of America) y la DIN alemana (Creus, 2010, p. 26).

La norma más usada es la ISA-S5.1-84 (R-1992) que sirve para identificar los instrumentos según su función usando una combinación de caracteres y símbolos los cuales se detallan en el Anexo 1.

Dentro de la tabla del Anexo 1 se debe considerar:

- Todas las letras de identificación deben ser mayúsculas.
- El conjunto de identificación no debe sobrepasar las 5 letras.
- La primera letra siempre expresa la variable a la que designa el instrumento.
- La segunda letra es una modificación de la variable.
- La tercera es una función secundaria del instrumento.
- La cuarta letra es la función principal del instrumento.
- La última letra puede ser una modificación de la función principal del instrumento.

### 1.1.2 Controlador lógico programable - PLC

Un controlador lógico programable – PLC, es uno de los instrumentos más importantes dentro de la industria. Los primeros PLC's fueron introducidos a principios de la década de 1960, principalmente por la industria automotriz. Hasta entonces, el control automático de equipo de manufactura se realizaba con una gran cantidad dispositivos que llegaba al valor de miles instalados dentro de tableros eléctricos (Wildi, 2007, págs. 879-880).

Con el avance de la tecnología y viendo las ventajas más importantes de usar PLC's resaltando entre ellas la fiabilidad, monitoreo, versatilidad, ahorro energético y económico, ingenieros en control realizaron sistemas programables para el control de

los procesos inmersos en industrias donde las ventajas del uso de estos dispositivos brindaban mayor fiabilidad frente a otros sistemas de control, adicional a esto ocupaban un espacio menor en gabinetes o tableros eléctricos, con el pasar del tiempo los PLC's han incrementado la capacidad de procesar diferentes tipos de variables desde neumáticas, eléctricas y digitales, además de poder conectarse entre sí mediante un tipo de comunicación industrial que ayuda al control desde un solo punto de toda una fábrica o industria. La característica importante es que un PLC llega a manejar hasta un total de 3000 entradas y salidas lo que logró reemplazar el uso de más de 10000 relevadores dentro de la industria (Wildi, 2007, págs. 879-880).

Un PLC tiene como base de diseño y construcción tres consideraciones principales: las entradas que provienen del proceso directo y son ingresadas de forma digital o en forma de señal análoga esto quiere decir mediante voltaje o corriente, la CPU (unidad central de proceso) donde de acuerdo a las instrucciones, se realiza la programación para el procesamiento de todas las señales de entrada y finalmente se encuentran las salidas del PLC que son activadas según la causa efecto de la programación, su activación se realiza en forma física ya sea enviando una señal digital o una salida de voltaje directo. Las entradas y salidas deben ser dimensionadas y son variantes de acuerdo con el proyecto a realizarse (Maloney, 2006, págs. 76-85).

### 1.1.3 Interface humano máquina - HMI

La interface humano máquina – HMI, como su nombre lo indica es un sistema que permite la comunicación entre el operador y el proceso mediante la visualización de las variables de control en tiempo real además de un registro completo de alarmas. Estos sistemas en principio consistían en gabinetes eléctricos compuestos por instrumentos indicadores del control de un proceso entre los que se tiene luces pilotos, indicadores de tipo digital o análogos, registradores, pulsadores, selectores entre otros que se realizaban la función de mostrar el estado de funcionamiento del proceso. Actualmente el avance de la tecnología en el sector industrial permite la diversificación de interfaces con el operador entre las más relevantes se tiene dos tipos:

- **Terminal Operador:** El cual es un panel programable de uso industrial que cuenta con pantalla y botones o puede ser de pantalla táctil, que se utiliza en ambientes agresivos para visualizar información de características numéricas, alfanuméricas o gráficos.
- **PC + *Software*:** Está constituido por un computador diseñado para ambiente industrial agresivo en donde su comunicación con el proceso depende y varía según el mismo, dentro del computador se instala un *software* exclusivo para que la PC se comporte como un HMI.

### 1.1.4 Sistemas de control de motores industriales

La palabra control de un motor o máquina hace referencia al mando o regulación de las funciones como son: arranque, aceleración, velocidad, potencia y protección, para lo cual se hace necesario un controlador eléctrico que controle y regule las funciones de un motor o una máquina (McIntyre, 1975, págs. 19-20).

#### 1.1.4.1 Tipos de control

El arranque de motores tiene tres tipos de controles encontrados en (McIntyre, 1975, págs. 20-25):

1. **Control manual:** Ejecutado en el mismo lugar donde se encuentra localizado el equipo eléctrico de control.

2. **Control semiautomático:** Este tipo de control utiliza un arrancador electromagnético comúnmente un contactor en conjunto con uno o más dispositivos de control manual entre los que se puede encontrar pulsadores, interruptores de maniobra.

3. **Control Automático:** Para este tipo de control se utiliza un arrancador electromagnético o contactor en conjunto con un controlador lógico para la manipulación de arranque del sistema.

## 1.2 Sistema eléctrico

Un sistema eléctrico es el encargado de brindar la alimentación hacia todos los equipos eléctricos además de brindar una protección para que el flujo de corriente no sea interrumpido evitando el daño de equipos.

### 1.2.1 Niveles de voltaje

El sector industrial cuenta con distintos tipos de máquinas eléctricas las cuales pueden llegar a manejar altas potencias de trabajo además de contar con sistemas control de bajo voltaje, lo cual hace obligatorio el uso de diferentes niveles de voltaje, estos se encuentran clasificados de acuerdo con la norma IEEE Std 141 y ANSI C84.1.

- Bajo Voltaje: 480[V], 208Y/120[V] - 3 fases – 60[Hz]
- Medio Voltaje: 34.5[kV], 13.8 [kV], 4.16[kV], 2.4[kV]/ 3 fases 60[Hz]
- Alto Voltaje: >69[kV] - 3 fases – 60[Hz]

Y para voltaje de control se clasifica en:

- Voltaje AC: 120[V], 1 fase, 60[Hz]
- Voltaje DC: 125[VDC], 24 [VDC]

### 1.2.2 Distribución de energía eléctrica en bajo voltaje

En el extremo del consumidor de los alimentadores de mediano voltaje que salen de la subestación, el voltaje es reducido por transformadores comprendidos entre 34.5kV, 13.8 kV, 4.16kV y 2.4kV a los voltajes mucho más bajos requeridos por los consumidores (Wildi, 2007, pág. 751).

Los sistemas de bajo voltaje más utilizados en América son: monofásico 2 conductores (120 [V]), monofásico 3 conductores, (240/120 [V]), trifásico 4 conductores (208/120 [V]), trifásico 3 conductores (480 [V]), trifásico 4 conductores (480/277 [V]), trifásico 3 conductores (600 [V]), trifásico 4 conductores (600/347 [V]) (Wildi, 2007, pág. 759).

### 1.2.3 Fallas en el sistema eléctrico

Un sistema eléctrico se diseña bajo la premisa de suministrar energía en forma continua hacia los equipos que necesitan alimentación eléctrica, de aquí que el grado de confiabilidad del servicio debe tener un índice alto.

El principal riesgo que presenta un sistema eléctrico radica en el incremento del flujo de corriente presentado por alguna falla dentro del sistema. Este incremento que sufre la corriente se conoce como sobrecorriente y se clasifica en: sobrecargas y cortocircuitos.

- **Sobrecargas:** Las sobrecargas se definen como una excesiva demanda de corriente sobre la capacidad a la que fue diseñado un circuito, corrientes que son mayores que el flujo de corriente normal, este exceso de corriente es visto por el dispositivo de sobrecorriente como una sobrecarga (Enríquez Harper, 2003, págs. 115-116).
- **Cortocircuito:** Se la define como una corriente que se encuentra fuera de sus rangos normales provocada por el contacto entre si o atierra de los conductores debido a una ruptura dieléctrica que sufre el aislamiento de los conductores (Enríquez Harper, 2003, pág. 116).

#### 1.2.3.1 Elementos de protección para sobrecorriente

Los elementos de protección son los encargados de resguardar a los equipos que conforman los sistemas eléctricos frente a fallas por sobrecarga y cortocircuito, interrumpiendo el flujo de corriente para no causar una temperatura excesiva y peligrosa que pueda dañar el aislamiento de los conductores (Enríquez Harper, 2003, pág. 117).

De acuerdo a Enríquez Harper (Enríquez Harper, 2003, págs. 117-118), los elementos de protección contra sobrecarga y cortocircuito deben cumplir con lo siguiente:

- Ser completamente automáticos.
- Transportar la corriente normal sin interrupción.
- Ser fácilmente reemplazables o restablecidos.

- Debe tener la capacidad de cerrar el circuito en forma segura en caso de existir un valor excesivo de corriente de carga o cortocircuito, cumpliendo los parámetros de tiempo que tiene cada dispositivo.
- Deben interrumpir automáticamente si detectan un flujo anormal de corriente.

Entre los elementos de protección más comunes se encuentran los interruptores o disyuntores y para motores se tiene elementos como guardamotores, relés térmicos o interruptores de caja moldeada.

### 1.2.4 Diagramas de control de motores eléctricos

Un sistema de control de motores se puede representar mediante los siguientes tipos de diagramas:

- Diagrama unifilar
- Diagrama de cableado eléctrico
- Diagrama esquemático

Los diagramas de control muestran todos los dispositivos necesarios para la protección frente a fallas eléctricas así como los dispositivos de control necesarios para el arranque del motor como se indica en la Figura 1.

Esquema de control para motores eléctricos

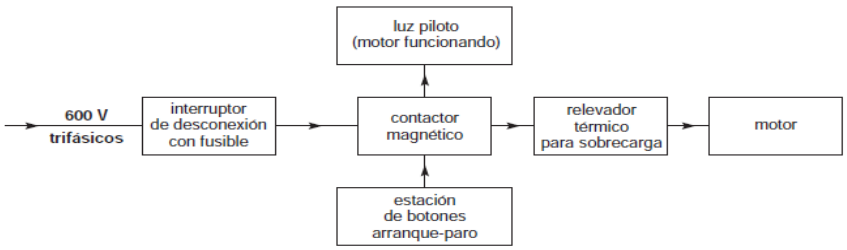



Figura 1. Diagrama de bloques para el control de motores
Fuente: (Wildi, 2007, pág. 453)

## 1.3 Motores eléctricos de corriente alterna de bajo voltaje

En función del sistema de distribución eléctrica en bajo voltaje se definen dos tipos de motores: monofásicos y trifásicos, motores típicos encontrados en el sector industrial.

### 1.3.1 Placa de un motor eléctrico

Tanto un motor monofásico como trifásico debe contar con una placa de datos, fácilmente visible y firmemente sujeta al motor que muestre los datos técnicos más importantes, los cuales son la base para cálculos de protecciones eléctricas y análisis de cargas.

Según Grupo Imferra (Grupo Imferra, 2012), los datos comúnmente mostrados son:

- **Potencia nominal:** Es la potencia máxima de salida en el eje del motor, la cual no incluye las perdidas y es medida en [HP] o en [kW].
- **Voltaje de Operación:** Voltaje de operación del motor, puede tener más de un valor si el motor lo admite.
- **Corriente nominal:** Esta es la corriente que el motor consume cuando se encuentra a plena carga.
- **Frecuencia:** Frecuencia a la cual ha sido diseñado el motor.
- **Factor de Potencia:** Indica el porcentaje del factor de potencia, que es una medida del amperaje requerido por el motor.
- **Eficiencia:** Indica el porcentaje del rendimiento de la potencia encontrada a la entrada y que es convertida en salida de trabajo en el eje del motor.
- **Fases:** Indica el tipo de alimentación para el cual ha el motor ha sido diseñado. Trifásica o monofásica, algunos motores admiten más de una configuración.
- **"Factor de Demanda:** Es una relación entre la demanda máxima en un intervalo considerado y la carga total instalada. Es un número adimensional que generalmente es menor que 100 %" (Likinormas, 2014).

# Capítulo 2

## Desarrollo técnico del proyecto

En el presente capítulo se describe todas las etapas que intervienen dentro del proceso, además se desarrolla el diseño del sistema eléctrico e instrumentación y control para la automatización de la planta de tratamiento de agua, también se describen los cálculos realizados para el dimensionamiento de equipos eléctricos y electrónicos. Se realizan los diagramas de flujo para cada etapa de la automatización de la planta de aguas residuales, además del desarrollo del HMI, el cual será el encargado de la monitorización de las alarmas y parámetros presentes en la planta de tratamiento.

### 2.1 Parámetros de proceso

La planta de tratamiento debe asegurar que las características del agua efluente de la planta de tratamiento cumplan como mínimo los requerimientos de RAOH 1215, como se indica en la Tabla 1.

Tabla 1.
Límites permisibles para descargas de aguas negras y grises

| Parámetro | Expresado en | Unidad | Valor límite permisible |
|---|---|---|---|
| Potencial hidrógeno | PH | -- | 5 < PH < 9 |
| Demanda química de oxígeno | DQO | mg/l | < 80 |
| Coliformes fecales | Colonias | Col/100 ml | < 1000 |
| Cloro residual | $Cl_2$ | mg/l | < 2 |

Nota: Parámetros requeridos a la salida del proceso, Fuente: (Noboa Bejarano, 2001, pág. 57) Legislación ambiental ecuatoriana RAOH 1215, Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña

### 2.2 Descripción del proceso

El proceso de la planta de tratamiento de aguas residuales empieza desde el momento en que el agua contaminada ingresa para realizar el proceso que se muestra en la Figura 2, con el fin de obtener en la salida del proceso un agua con los patrones de calidad establecidos en la Tabla 1.

Proceso de tratamiento de las aguas residuales

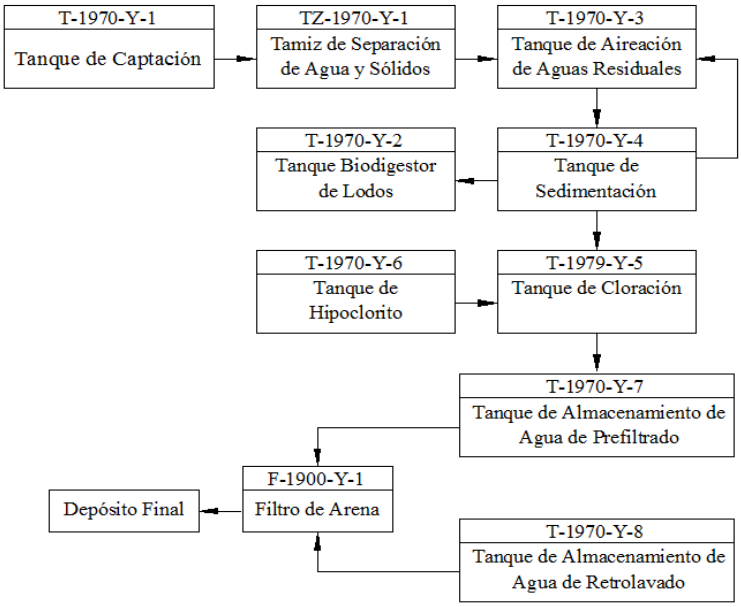



Figura 2. Etapas de la planta de tratamiento de aguas residuales.
Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña.

### 2.2.1 Tanque de captación T-1970-Y-1

El tanque de captación tiene la función de recibir las descargas, generar la homogenización y amortiguar los picos de caudal de las aguas residuales generadas en el campamento para luego enviar el agua hacia la planta, para esto se debe instalar: dos bombas trituradoras sumergibles: P-1993-Y-1 y P-1993-Y-2 para enviar las aguas residuales hacia el tamiz TZ-1970-Y-1, un transmisor indicador de presión PIT-0103-1A a la salida común de las bombas encargado de accionar una alarma en el HMI si la presión de trabajo de las bombas sobrepasa los 25 [psi], un transmisor indicador de flujo FIT-0109-1A entre el tanque de captación y el tamiz encargado de medir el ingreso del agua residual a la planta de tratamiento (el flujo no puede exceder los 30 [gl/m] por cuanto es el flujo máximo que el sistema puede tratar eficientemente), un switch de nivel bajo LSL-0101-1A seteado a 0.30 [m] y un switch de nivel alto LSH-0101-1A seteado a 2 [m] asegurando así que las bombas no succionen en seco y se enciendan cuando el tanque se encuentre lleno.

Con las condiciones para el proceso de captación de aguas residuales se desarrolla el diagrama P&ID, como se muestra en la Figura 3.

Tanque de captación

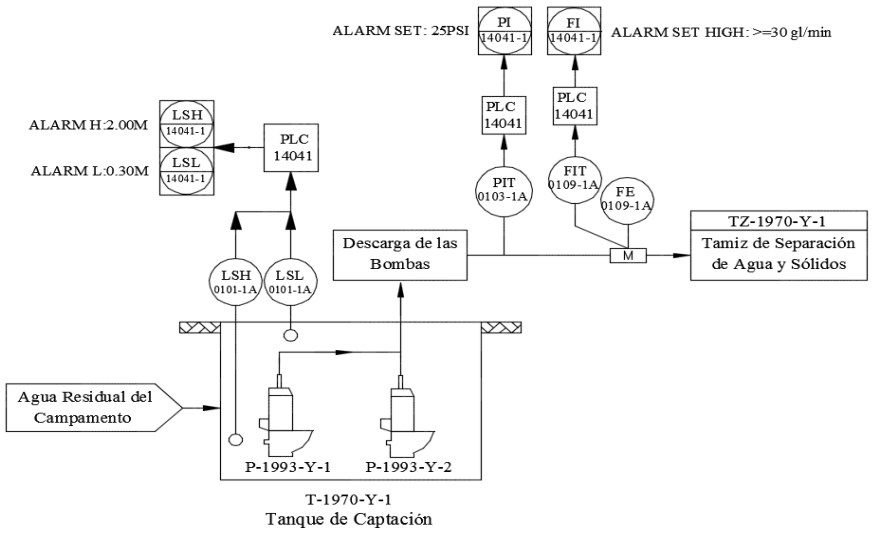



Figura 3. Proceso de captación de las aguas residuales.
Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña.

### 2.2.2 Tamiz TZ-1970-Y-1

El tamiz estático es un filtro utilizado para la separación sólido-líquida en Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (E.D.A.R.), su función consiste en retener sólidos gruesos que pueden ingresar con las aguas residuales realizando una separación inicial de estos elementos. El tamiz es autolimpiante, esto quiere decir que la misma agua que ingresa empuja los sólidos hacia una tolva de recolección, que a su vez los descarga en un tanque de acumulación de desechos o basurero, como se muestra en la Figura 4.

Tamiz

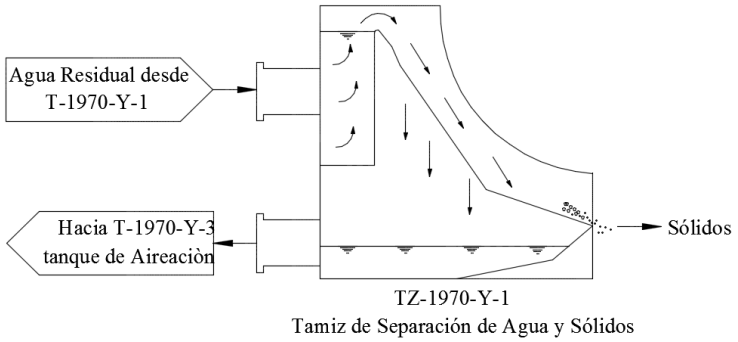



Figura 4. Proceso de separación inicial
Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña

### 2.2.3 Tanque de aireación de aguas residuales T-1970-Y-3

El tanque de aireación es el primer tanque dentro del proceso de tratamiento, aquí se generan las bacterias que van a biodegradar la materia orgánica que ingrese al tanque y se produce un clarificado bajo en DBO (demanda biológica de oxígeno), DQO (demanda química de oxígeno) y turbiedad, con el fin de cumplir con las regulaciones ambientales.

Para que las bacterias puedan utilizar como alimento el material biodegradable que se desea eliminar del agua y no mueran, obligatoriamente deben estar en suspensión, esto quiere decir que la cantidad de oxígeno disuelto en el agua debe ser mayor a 2 [ppm]. Por otro lado, debe existir un tiempo de residencia adecuado para que se cumpla la condición de aireación extendida. Para el caso de las plantas de aguas residuales, el tiempo de residencia del agua en este tanque se ha establecido en un intervalo de 18 a 36 horas con el fin de asegurar que la relación F/M (sustrato / sólidos suspendidos en el licor mezcla) sea menor a 0.1 alcanzando así el equilibrio ideal en el sistema.

Al tanque de aireación se conectarán dos blowers o llamados también aireadores B-1900-2 y B-1900-3 para proporcionar el nivel de oxígeno disuelto (en un rango >2 [ppm] y <8 [ppm]), en la salida común de las blowers un transmisor indicador de presión PIT-0105-1C será el encargado de accionar una alarma en el HMI si la presión de trabajo de las blowers excede los 4.5 [psi], también requiere un analizador de PH AI-0110-1A para medir el PH del agua contenida dentro del tanque, el PH ideal debe ubicarse dentro de 5 a 9 siendo el rango donde se desarrolla la vida humana, de plantas y animales, si el PH se sale de este rango se accionará una alarma en el HMI. Un analizador de $O_2$ (oxígeno disuelto), AI-0111-1B es requerido para visualizar y controlar el nivel de oxígeno disuelto presente en el agua, en caso de que el nivel de oxígeno sea mayor a 8 [ppm] el analizador enviará una señal al PLC para apagar el o los blowers y cuando el nivel de oxígeno sea menor a 2 [ppm] el analizador enviará una señal al PLC para encender los blowers, al interior del tanque se deben instalar un total de treinta difusores de burbuja final de 9 [in], para distribuir el aire generado por los blowers. De acuerdo con estas condiciones se desarrolla el diagrama P&ID, como se muestra en la Figura 5.

Tanque de aireación de aguas residuales

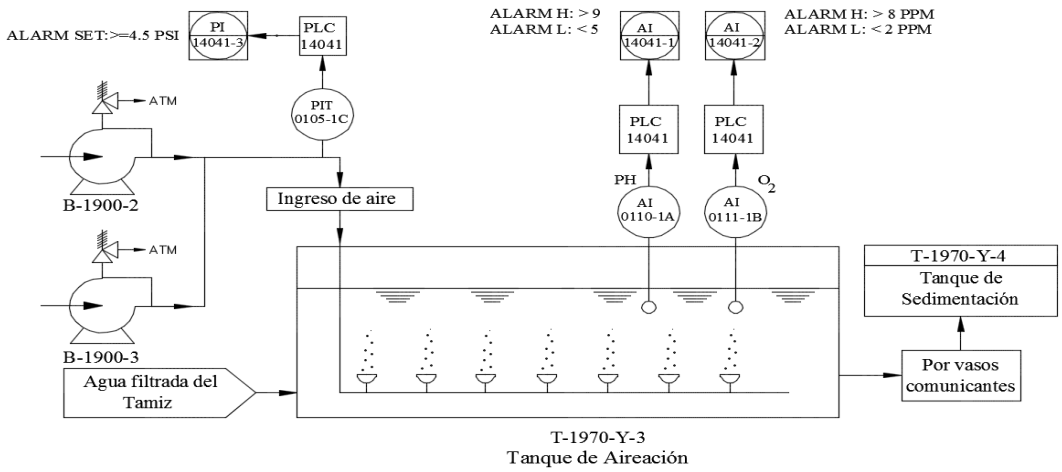



Figura 5. Proceso de clarificación del agua
Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña

### 2.2.4 Tanque de sedimentación T-1970-Y-4

El tanque de sedimentación tiene forma rectangular en su superficie, con caída cónica para recolección, aglomeración y espesamiento de lodos, aquí el agua debe estar lo más tranquila posible en un tiempo de residencia de 2 a 4.5 horas con el fin de que el bioflóculo conformado por bacterias se sedimente en el fondo y permita tener un clarificado de gran calidad en la superficie.

El tanque contiene un sistema denominado skimmer (Sistema de recolección de grasas superficiales) para succionar los residuos flotantes desde la superficie y enviarlos nuevamente al tanque de aireación esta succión se lo debe realizar con los aireadores y mediante el uso de la tubería provocará un efecto Venturi, además cuenta con las bombas P-1992-Y-1 y P-1992-Y-2 que son las encargadas de retornar los lodos sedimentados hacia el tanque de aireación, cumpliendo así con el proceso de lodos activados, en la salida común de las bombas un transmisor indicador de presión PIT-0106-1D será el encargado de accionar una alarma en el HMI si la presión de trabajo de las bombas llega a 45 [psi] y una alarma para el apagado de las bombas cuando el transmisor marque 50 [Psig]. De acuerdo con las condiciones requeridas para el proceso de sedimentación de lodos se desarrolla el diagrama P&ID como se muestra en la Figura 6.

Tanque de sedimentación

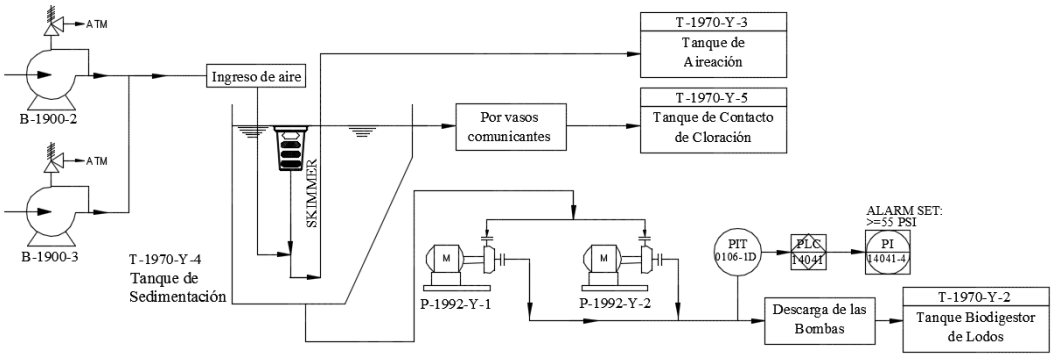



Figura 6. Proceso para sedimentación y recolección de lodos
Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña

### 2.2.5 Tanque de contacto de cloración T-1979-Y-5

En el tanque de contacto de cloración se dará la desinfección final al agua, mediante la dosificación de hipoclorito de sodio realizado por la bomba de inyección de químicos P-1957-Y-1 desde el tanque auxiliar de almacenamiento de hipoclorito T-1970-Y-6 misma que será controlada mediante regulación manual por el operador cuando el analizador de cloro AI-0112-1C se active en cualquiera de los puntos de seteo. El agua dentro del tanque de desinfección tiene un tiempo de residencia de 0.5 horas, suficiente para asegurar la eliminación en un 99.9 % de virus, bacterias, coliformes totales y otros microorganismos.

De acuerdo con las condiciones requeridas para el proceso de desinfección se desarrolla el diagrama P&ID, como se muestra en la Figura 7.

Tanque de contacto de cloración

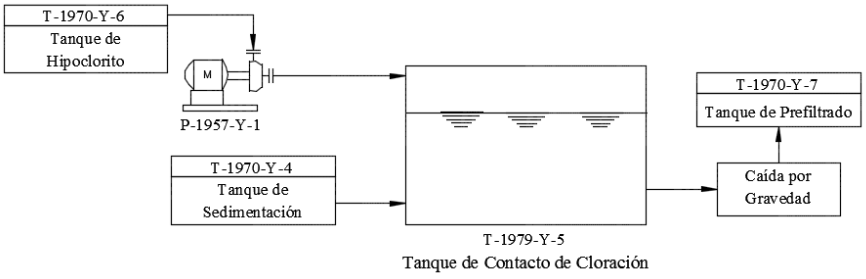



Figura 7. Proceso de desinfección final del agua
Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña

### 2.2.6 Tanque de almacenamiento de hipoclorito T-1970-Y-6

El tanque de almacenamiento de hipoclorito almacenará el hipoclorito de sodio, una bomba de inyección de químico P-1957-Y-1 realizará la dosificación de hipoclorito de sodio y tendrá la función de inyectarlo al tanque T-1979-Y-5, para el control de nivel se instalará un switch de nivel bajo LSL-0114-1A seteado a 0.25 [m] para que la bomba no succione en seco y en el exterior del tanque se le instará una columna de calibración que permitirá medir el nivel de hipoclorito de sodio contenido dentro del tanque, con el fin de regularlo de ser necesario. Con estas condiciones se desarrolla el diagrama P&ID, como se muestra en la Figura 8.

Tanque de almacenamiento de hipoclorito

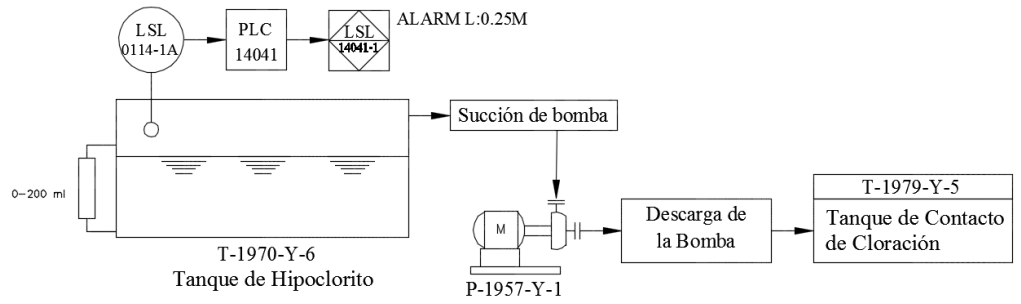



Figura 8. Proceso para la dosificación del cloro
Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña

### 2.2.7 Tanque de prefiltración T-1970-Y-7

La función del tanque de prefiltración consiste en recibir y almacenar el agua que proviene del tanque de contacto de cloración. El agua será llevada por caída libre y permanecerá en el tanque de prefiltrado hasta que se realice el análisis mensual de DQO, si el análisis revela un resultado de DQO fuera de los parámetros ambientales será necesario filtrar el agua mediante la succión de las bombas de filtración hacia un filtro de sedimentos hasta el siguiente análisis y si el análisis revela un resultado de DQO dentro de los parámetros ambientales, el agua será enviada por gravedad hasta el punto de descarga.

Al tanque se conectarán: dos bombas de filtración P-1992-Y-3 y P-1992-Y-4 para el envío del agua a través del filtro de sedimentos F-1900-Y-1, un transmisor indicador de presión PIT-0107-1E a la salida común de las bombas encargado de activar una alarma en el HMI si la presión de trabajo de las bombas es mayor a 65 [psi], un switch de nivel bajo LSL-0102-1B seteado a 0.30 [m] para que las bombas no succionen en seco, un switch de nivel alto LSH-0102-1B seteado a 1 [m] para encender las dos bombas y desfogar el agua más rápido, un transmisor indicador de nivel LIT-0113-1A seteado a 1.15 [m] utilizado como una doble seguridad es decir como un punto alto-alto para encender las dos bombas al tiempo para evacuar el agua más rápido y evitar desbordamientos, un analizador de cloro libre residual AI-0112-1C y así generar dos alarmas: una si el nivel de cloro es menor a 0.3 [ppm] y otro si el nivel de cloro es mayor a 1.5 [ppm] (el operador deberá regular la dosificación de cloro basándose en lo medido por dicho sensor, esto lo realizará mediante el potenciómetro de la bomba dosificadora, el cual regula frecuencia y cantidad de dosificación, en la columna de calibración se verifica el nivel de químico presente dentro del tanque, por cuanto el tanque no puede permanecer abierto porque el cloro se desvanecería). Con estas condiciones se desarrolla el diagrama P&ID, como se muestra en la Figura 9.

Tanque de prefiltración

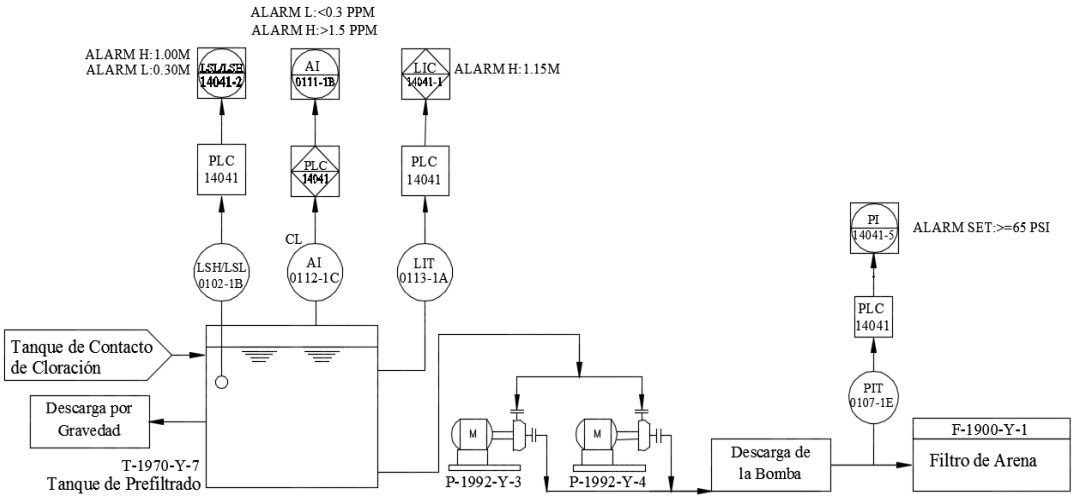



Figura 9. Proceso de almacenamiento de agua purificada
Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña

### 2.2.8 Filtro de sedimentos F-1900-Y-1

En el interior del filtro de sedimentos incluirá un medio filtrante compuesto por Zeolita de 5 micrones, que tiene la función de retener partículas mayores a este tamaño, este tendrá válvulas de retrolavado manual que permiten limpiar el lecho.

A la entrada del filtro de sedimentos se instalará un indicador de presión diferencial PDI-0116-1A, para determinar si el medio filtrante se ha saturado. Se considera que el filtro estará saturado cuando la presión diferencial sea 15 [psi]. Cuando esto suceda se deberá realizar un retrolavado del filtro con agua potable. Con estas especificaciones se desarrolla el diagrama P&ID, como se muestra en la Figura 10.

Filtro de sedimentos

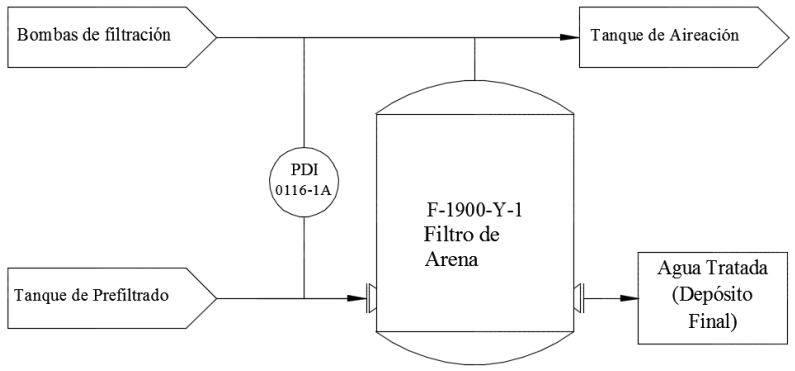



Figura 10. Proceso de filtración de agua
Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña

### 2.2.9 Tanque biodigestor de lodos T-1970-Y-2

El tanque biodigestor de lodos tiene la función de almacenar los lodos que se encuentran en exceso en el sistema, para luego ser biodigeridos aeróbicamente durante 21 a 30 días, tiempo suficiente para acondicionarlos para su disposición final. Al tanque se instalará una blower B-1900-1, para el proceso de biodigestión de los lodos y a la salida de la blower se instalará un transmisor indicador de presión PIT-0104-1B, que accionará una alarma en el HMI cuando la presión de trabajo de la blower exceda los 4.5 [psi]. Con estas especificaciones se desarrolla el diagrama P&ID, como se muestra en la Figura 11.

Tanque biodigestor de lodos

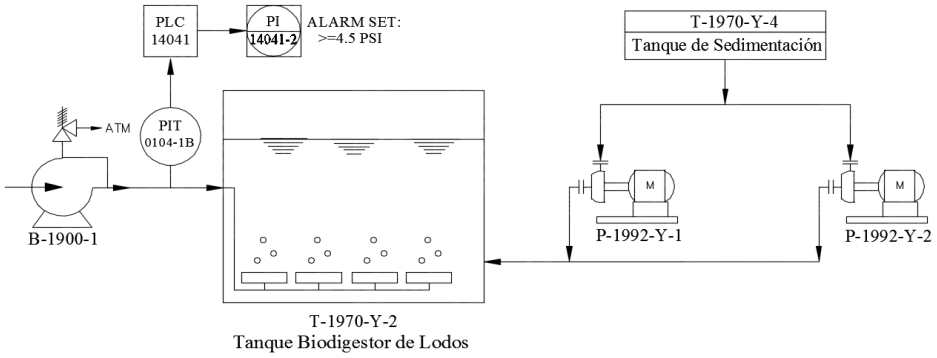



Figura 11. Tanque de almacenamiento de lodos
Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña

### 2.2.10 Tanque de retrolavado T-1970-Y-8

Cuando el filtro de sedimentos F-1900-Y-1 haya sido utilizado y saturado, se debe llenar el tanque de retrolavado T-1970-Y-8 con agua potable de manera manual, el retrolavado se lo realizará empleando las bombas de filtración P-1992-Y-3 o P-1992-Y-4.

Al tanque se instalará un switch de nivel bajo LSL-0115-1B seteado a 0.30 [m], para evitar que las bombas de filtración P-1992-Y-3 o P-1992-Y-4 succionen en seco. Con estas especificaciones se desarrolla el diagrama P&ID, como se muestra en la Figura 12.

Tanque de retrolavado

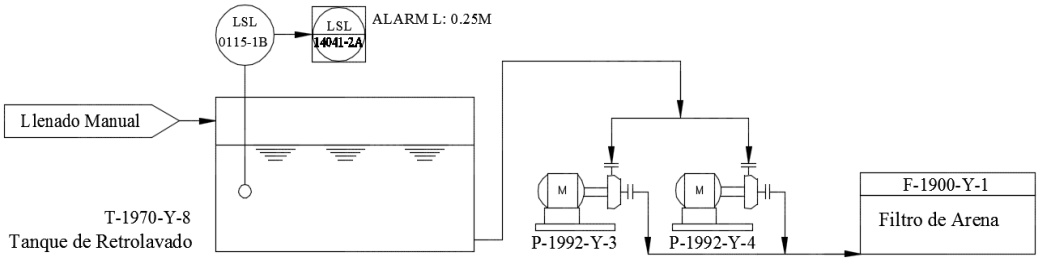



Figura 12. Proceso para el retrolavado del filtro de sedimentos
Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña

## 2.3 Diseño del sistema eléctrico

### 2.3.1 Diseño del circuito de fuerza o potencia

El sistema eléctrico de potencia estará compuesto por los elementos mostrados en la Figura 13.

Sistema eléctrico de potencia

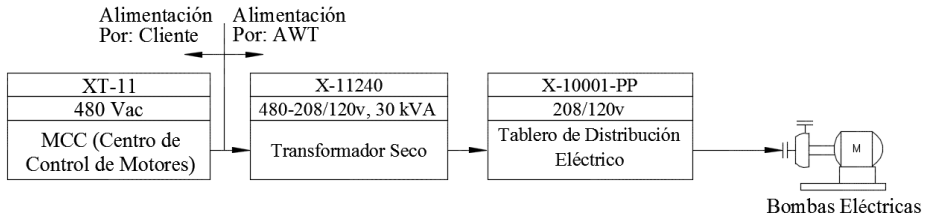



Figura 13. Sistema de alimentación eléctrica de la planta de tratamiento de aguas residuales
Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña

- **Centro de control de motores MCC XT-11:** Es el encargado del control de los equipos eléctricos a 480 [Vac], de un cubículo dentro del MCC provisto con un sistema de arranque directo de un motor (braker, contactor, relé térmico) se tomará la alimentación para la planta de tratamiento de aguas residuales.

- **Transformador seco X-11240:** Se hace necesario un transformador reductor de voltaje, tipo seco para ambiente externo, para realizar la interconexión entre el MCC-XT-11 que trabaja en 480 [Vac] y el tablero de distribución XP-10001-PP que trabajará en 220/120 [Vac].

- **Tablero de distribución eléctrico X-10001-PP:** En este tablero se instalará un juego de protecciones de características adecuadas para proteger y alimentar a los motores presentes en el proceso. Este tablero será un armario metálico, diseñado para brindar una alimentación en 220 [Vac] y 120 [Vac].

- **Bombas eléctricas:** La planta demanda un total de diez bombas las cuales se describen en la Tabla 2.

Tabla 2.
Datos técnicos de bombas eléctricas

| No. | Tag | Descripción | Potencia | Voltaje | FP | EFF | Fases | FLA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | [HP] | [kV] | - | [%] | [#] | [A] |
| 1 | P-1957-Y-1 | Bomba de inyección de químicos | 0.17 | 0.11 | - | - | 1 | 0.40 |
| 2 | P-1993-Y-1 | Bomba trituradora sumergible | 2 | 0.22 | 0.86 | 94% | 3 | 4.84 |
| 3 | P-1993-Y-2 | Bomba trituradora sumergible | 2 | 0.22 | 0.86 | 94% | 3 | 4.84 |
| 4 | B-1900-1 | Blower 1 | 3.5 | 0,22 | 0.81 | 79.5% | 1 | 12.6 |
| 5 | B-1900-2 | Blower 2 | 6.4 | 0,22 | 0.86 | 94% | 3 | 19 |
| 6 | B-1900-3 | Blower 3 | 6.4 | 0,22 | 0.86 | 94% | 3 | 19 |
| 7 | P-1992-Y-1 | Bomba de retorno de lodos | 1.50 | 0.22 | 0.76 | 81.5% | 3 | 4.46 |
| 8 | P-1992-Y-2 | Bomba de retorno de lodos | 1.50 | 0.22 | 0.76 | 81.5% | 3 | 4.46 |
| 9 | P-1992-Y-3 | Bomba de filtración | 3 | 0.22 | 86.3 | 84% | 3 | 7.6 |
| 10 | P-1992-Y-4 | Bomba de filtración | 3 | 0.22 | 86.3 | 84% | 3 | 7.6 |

Nota: Datos tomados de las placas de los motores, Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña

Para los motores aquí descritos se realizará un arranque directo, es esta configuración se tendrá: un guardamotor, para la protección frente a cortocircuitos y sobrecargas térmicas; en conjunto se tendrá un contactor que será el responsable de la conexión entre el motor y la red eléctrica, gobernado por un circuito de control. Para la descripción del diseño se debe observar el plano del diagrama unifilar del Anexo 2.

### 2.3.2 Diseño del tablero de distribución eléctrico X-10001-PP

El tablero eléctrico debe ser construido en acero inoxidable con un tipo de protección NEMA 4X debido a su exposición a la intemperie, en su parte interna se instalarán todos los elementos el control del encendido de las bombas como se ha mencionado en secciones anteriores.

El tablero en su puerta frontal tendrá un selector general HS1, de dos posiciones: encendido (ON) encargado de energizar y apagado (OFF) encargado de desenergizar los circuitos de fuerza y control, también contará con diez selectores de dos posiciones (ON/OFF) asociados a luces indicadoras de encendido color verde y falla color rojo

para los diez motores presentes en el proceso y un selector de dos posiciones (FILTRAR/ NO FILTRAR) para el control del proceso de filtración del agua. El diseño completo del tablero se lo puede revisar en el Anexo 3.

### 2.3.3 Diseño circuito de control o de mando

Los circuitos de control serán los encargados del manejo a distancia de los circuitos de potencia, lo que ayudará al operador a tener un sistema de control centralizado logrando así que la transferencia de energía eléctrica entre en funcionamiento rápidamente sin pérdidas de tiempo.

Para el control de bombas que intervienen en el proceso existirán dos opciones: manual y automático, para la cual se tendrá un selector HOA (manual/ automático, por sus siglas en inglés) ubicado en la puerta del tablero X-10001-CP encargado de controlar los dos estados.

**Control manual:** Para que este sistema entre en funcionamiento se debe colocar el selector HOA en la posición HAND (Manual), con lo cual las bombas pueden ser gobernadas por los selectores ubicados en la parte externa del tablero X-10001-PP, cada bomba debe cumplir ciertos parámetros, que se pueden observar en el Anexo 4. Antes de poder encenderse o apagarse, en primera instancia dependerán de los rangos de operación expuestos como son: volumen de agua presente en cada uno de los tanques, nivel de oxígeno disuelto, potencial hidrógeno o PH, también depende que no exista ninguna falla en el sistema ya sea por una sobrecarga en algún motor o alguna alarma de fallo en cualquier parte del proceso.

**Control automático:** Para que el sistema funcione en modo automático se debe colocar el selector HOA en posición AUTOMATIC (Automático). En este modo el encendido de las bombas lo realiza el controlador lógico programable PLC-14041, durante este modo los selectores (ON/OFF) asociados al encendido de las bombas quedaran inhabilitados para evitar manipulación de las bombas por parte del usuario y que no se genere una retroalimentación eléctrica, el encendido y apagado en este modo se realizará al cumplir los parámetros mostrados en el Anexo 4.

Con las especificaciones expuestas en el Anexo 4 se procederá a realizar el diseño de los planos de diagramas esquemáticos de control eléctrico para el arranque de las bombas que se los podrá visualizar el Anexo 5.

## 2.4 Criterios para la selección de equipos eléctricos

### 2.4.1 Criterio para la selección del transformador seco

En función de los niveles de bajo voltaje manejados por la planta se debe seleccionar un transformador trifásico 4 conductores (480/277 [V]), para montaje en ambiente externo expuesto a la intemperie tipo NEMA 3R, no ventilado y totalmente cerrado.

El transformador debe ser diseñado y fabricado según lo especificado en la norma ANSI/IEEE C57 “Distribution, Power and Regulating Transformer”, y debe llevar el Registro UL (Underwriters Laboratories Inc.) estampado en la placa de datos.

**Características eléctricas:**

- Tensión primaria: 480[Vac] con TAP regulable, para prevenir caídas de tensión por distancia desde la fuente de alimentación del transformador; tensión secundaria: 208 / 120 [Vac].
- Los terminales de tomas deben estar diseñados con altos factores de seguridad térmica, mecánica y eléctrica capaces de resistir las corrientes de cortocircuito del transformador sin dañarse.
- Frecuencia: 60 [Hz]; Número de Fases: 3; Nivel máximo de ruido <55 dB.
- Bobinado del primario en triángulo; Bobinado del secundario en estrella, con neutro accesible y puesta a tierra.

Luego de considerar todas las características que debe poseer el transformador hay que seleccionar la potencia de trabajo para lo cual se debe realizar un análisis de cargas con todos los motores que intervienen en el proceso de tratamiento de aguas residuales como se observa en la Tabla 3, análisis que toma como bases el criterio emitido por la Empresa Eléctrica Quito y los criterios técnicos necesarios para obtener en este caso la potencia que requiere un sistema en bajo voltaje.

Tabla 3.
Análisis de cargas

| Bomba | Descripción | PN | MR | VO | FP | EFF | F | In | FD | Demanda | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | kVA | HP | kV | % | % | # | A | % | kW | kVA | A |
| P-1957-Y-1 | Bomba de inyección de químicos | 0.05 | 0.17 | 0.11 | - | 94% | 1 | 0.44 | 80% | 0.10 | 0.04 | 0.35 |
| P-1993-Y-1 | Bomba trituradora sumergible | 1.84 | 2 | 0.22 | 86% | 94% | 3 | 4.84 | 80% | 1.19 | 1.48 | 3.87 |
| P-1993-Y-2 | Bomba trituradora sumergible | 1.84 | 2 | 0.22 | 86% | 94% | 3 | 4.84 | 80% | 1.19 | 1.48 | 3.87 |
| B-1900-1 | Blower 1 | 4.03 | 3.50 | 0.22 | 81% | 80% | 1 | 10.57 | 80% | 2.09 | 3.22 | 8.46 |
| B-1900-2 | Blower 2 | 5.53 | 6 | 0.22 | 86% | 94% | 3 | 14.52 | 80% | 3.58 | 4.43 | 11.6 |
| B-1900-3 | Blower 3 | 5.53 | 6 | 0.22 | 86% | 94% | 3 | 14.52 | 80% | 2.24 | 4.43 | 11.6 |
| P-1992-Y-1 | Bomba de retorno de lodos | 1.79 | 1.50 | 0.22 | 76% | 82% | 3 | 4.71 | 80% | 0.90 | 1.44 | 3.77 |
| P-1992-Y-2 | Bomba de retorno de lodos | 1.79 | 1.50 | 0.22 | 76% | 82% | 3 | 4.71 | 80% | 0.90 | 1.44 | 3.77 |
| P-1992-Y-3 | Bomba de filtración | 3.10 | 3 | 0.22 | 86% | 84% | 3 | 8.13 | 80% | 1.79 | 2.48 | 6.50 |
| P-1992-Y-4 | Bomba de filtración | 3.10 | 3 | 0.22 | 86% | 84% | 3 | 8.13 | 80% | 1.79 | 2.48 | 6.50 |
| **Potencia total instalada** | | 28.71 | | **Demanda total** | | | | | **kW** | **kVA** | **A** | |
| | | | | | | | | | 11.40 | 22.89 | 47.33 | |
| **Perdidas 10%** | | | | | | | | | - | 2.29 | 4.73 | |
| **Incertidumbre de demanda pico 10%** | | | | | | | | | - | 2.29 | 4.73 | |
| **Demanda total de consumo** | | | | | | | | | - | 27.47 | 56.80 | |
| **Reserva futura 5%** | | | | | | | | | - | 28.85 | 59.64 | |
| **Potencia del transformador mínima normalizada (kVA)** | | | | | | | | | - | 30,00 | - | |
| **1.- Se considera que las cargas actuales trabajaran al 80% de su capacidad nominal.** | | | | | | | | | | | | |

Nota: Análisis de cargas de las bombas eléctricas. Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña

De donde:

**Potencia Nominal (PN):** Este dato se obtiene a partir de la siguiente formula:

**(Ecuación 2.1)** $$PN = \frac{0.7457\ x\ MR}{FP\ x\ EFF}\ [kVA]$$

Aplicando la Ecuación 2.1 para la bomba P-1993-Y-1:

$$PN = \frac{0.7457\ x\ 2}{0.86\ x\ 0.94}\ [kVA]$$

$$PN = 1.84\ [kVA]$$

**Corriente nominal (In):** Se obtiene a partir de la siguiente formula:

**(Ecuación 2.2)** $In = \frac{PN}{VO\ x\ \sqrt{3}}\ [A]$

Aplicando la Ecuación 2.2 para la bomba P-1993-Y-1:

$$In = \frac{1.84}{220\ x\ \sqrt{3}}\ [A]$$

$$In = 4.84\ [A]$$

**[kW] de Demanda:** Es la potencia de demanda expresada en kilo watts y se obtiene a partir de la siguiente formula:

**(Ecuación 2.3)** $[kW] de\ Demanda = MR\ x\ FD\ x\ 0.746\ [kW]$

Aplicando la Ecuación 2.3 para la bomba P-1993-Y-1:

$$[kW] de\ Demanda = 2\ x\ 0.8\ x\ 0.746\ [kW]$$

$$[kW]\ de\ Demanda = 1.19\ [kW]$$

**[kVA] de Demanda:** Es la potencia de demanda expresada en kilo volt-amperios y se obtiene a partir de la siguiente formula:

**(Ecuación 2.4)** $[kVA] de\ Demanda = PN\ x\ FD\ [kVA]$

Aplicando la Ecuación 2.4 para la bomba P-1993-Y-1:

$$[kVA]\ de\ demanda = 1.84\ x\ 0.8\ [kVA]$$

$$[kVA] de\ demanda = 1.48\ [kVA]$$

**[A] de Demanda:** Es la corriente de demanda expresada en amperios y se obtiene a partir de la siguiente formula:

**(Ecuación 2.5)** $[A] de\ Demanda = \frac{[kVA] de\ Demanda}{VO\ x\ \sqrt{3}}\ [A]$

Aplicando la Ecuación 2.5 para la bomba P-1993-Y-1:

$$[A]\ de\ Demanda = \frac{1.47}{220\ x\ \sqrt{3}}\ [A]$$

$$[A]\ de\ Demanda = 3.87\ [A]$$

**Demanda Total:** Es la potencia y corriente demandada por las bombas que se utilizaran en el sistema, se obtiene realizando la sumatoria de potencia y corriente calculada para cada bomba.

**Potencia total en kilowatts:**

$$Demanda\ total\ [\ kW\ ] = (\ 0.10 + 1.19 + 1.19 + 2.09 + 3.58 + 2.24 + 0.90 + 0.90 + 1.79 + 1.79)[kW]$$

$$Demanda\ total\ [kW] = 11.40\ [kW]$$

**Potencia total en kilovolt-amperios:**

$$Demanda\ total\ [kVA] = (0.04 + 1.48 + 1.48 + 3.22 + 4.43 + 4.43 + 1.44 + 1.44 + 2.48 + 2.48)\ [kVA]$$

$$Demanda\ total\ [kVA] = 22.89\ [kVA]$$

**Corriente total:**

*Demanda total* [A]=(0.35+3.87+3.87+8.46+11.62+11.62+3.77+3.77+6.5+6.5 )[A]

$Demanda\ total[A]$ = 47.33[A]

Del resultado obtenido en el análisis de cargas el transformador seleccionado es uno de 30 [kVA] cuyas especificaciones se las puede revisar en el Anexo 6.

### 2.4.2 Criterio para la selección del disyuntor general

En la norma NEC en su sección IV en sus artículos 430.51 hasta 430.57 (Earley, P.E., Sargent, Coache, & Roux, 2011, págs. 599-628), establece que "los disyuntores para protección de derivaciones de motores, tendrán una intensidad de régimen de carga continuo no inferior al 115% de la intensidad a plena carga".

**(Ecuación 2.6)** $I = Factor\ x\ I_{MG} + \sum(I_{MR} + I_{CC})[A]$

En donde:

$I_{MG} =$ Corriente a plena carga del motor más grande.

$I_{MR} =$ Corriente a plena carga de los motores restantes.

$I_{CC} =$ Corriente que consumen los circuitos de control.

Considerando los datos de la Tabla 3, se toma el dato de corriente de consumo de cada motor para aplicarlos en la Ecuación 2.6:

$$I = \{(1.15x11.62) + 0.35 + 3.87 + 3.87 + 8.46 + 11.62 + 11.62 + 3.77 + 3.77 + 6.5 + +6.5 + 10\}\ [A]$$

$$I = 70.69\ [A]$$

### 2.4.3 Criterio para la selección del contactor electromagnético

El arranque de los motores requiere contactores con estas características eléctricas:

- Voltaje de alimentación: 220 [Vac], voltaje de control: 110 [Vac].
- Categoría de servicio AC3 utilizados para cargas puramente inductivas como son los motores asincrónicos (rotor jaula de ardilla) en servicio continuo, compresores, ventiladores, etc.

**Dimensionamiento:** En función de la Tabla 4, facilitado por la empresa Siemens en conjunto con voltaje y corrientes nominales tomados de la Tabla 2, se selecciona los contactores como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 4.
Tabla de selección de contactores

| **Tipo** | | **S0** 3RT20 2 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **3RT10/ 3RT20** | | | | | | | |
| **Operación AC/DC** | | 3RT2023 | 3RT2024 | 3RT2025 | 3RT2026 | 3RT2027 | 3RT2028 |
| **AC-3** | | | | | | | |
| **Ie/ AC-3/ 400 V** | A | 9 | 12 | 17 | 25 | 32 | 38 |

Nota: Tabla de selección de contactor en función del voltaje y corriente, Fuente: (Siemens Industry, Inc, 2015)

Tabla 5.
Dimensionamiento de contactores

| Tag | Descripción | Pot. | Pot. | Voltaje | Corriente de Servicio (Ie) | Contactor |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | [HP] | [kW] | [V] | [A] | |
| P-1957-Y-1 | Bomba de inyección de químicos | 0,17 | 0,13 | 120,00 | 9,00 | 3RT2023 |
| P-1993-Y-1 | Bomba trituradora sumergible | 2,00 | 1,49 | 220,00 | 9,00 | 3RT2023 |
| P-1993-Y-2 | Bomba trituradora sumergible | 2,00 | 1,49 | 220,00 | 9,00 | 3RT2023 |
| B-1900-1 | Blower 1 | 3,50 | 2,61 | 220,00 | 12,00 | 3RT2024 |
| B-1900-2 | Blower 2 | 6,00 | 4,48 | 220,00 | 25,00 | 3RT2026 |
| B-1900-3 | Blower 3 | 6,00 | 4,48 | 220,00 | 25,00 | 3RT2026 |
| P-1992-Y-1 | Bomba de retorno de lodos | 1,50 | 1,12 | 220,00 | 9,00 | 3RT2023 |
| P-1992-Y-2 | Bomba de retorno de lodos | 1,50 | 1,12 | 220,00 | 9,00 | 3RT2023 |
| P-1992-Y-3 | Bomba de transferencia | 3,00 | 2,24 | 220,00 | 12,00 | 3RT2024 |
| P-1992-Y-4 | Bomba de transferencia | 3,00 | 2,24 | 220,00 | 12,00 | 3RT2024 |

Nota: Tabla de contactores seleccionados, Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña

### 2.4.4 Criterios para la selección del guardamotor

Los motores requieren guardamotores con las siguientes características:

- Voltaje de alimentación: 220 [Vac] y 110 [Vac] y un disparo: Relés Clase 10 según lo establece la norma IEC 947-4-1-1.

**Dimensionamiento:** La norma NEC en su sección III en sus artículos 430.31 hasta 430.44 donde Earley, P.E., Sargent, Coache, & Roux (Earley, P.E., Sargent, Coache, & Roux, 2011, págs. 617-622), establece que:

Para motores con un factor de servicio menor a 1.15 o aquellos con una temperatura de trabajo igual o mayor a 40 °C son capaces de soportar una sobrecarga prolongada, donde el dispositivo de protección de sobrecarga del motor abre el circuito de potencia si el motor atrae una intensidad de régimen de carga continuo no inferior al 115% de la intensidad a plena carga.

**(Ecuación 2.7)** $CA = FLA * 1.15\ [A]$

Aplicado la ecuación 2.7 al motor P-1957-Y-1:

$CA = 0.40 * 1.15\ [A]$

$CA = 0.46\ [A]$

La corriente de sobrecarga que soporta cada bomba se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6.
Dimensionamiento de guardamotores

| Tag | Descripción | FLA | CA | Clase |
|---|---|---|---|---|
| | | [A] | [A] | |
| P-1957-Y-1 | Bomba de inyección de químicos | 0.40 | 0.46 | 10 |
| P-1993-Y-1 | Bomba trituradora sumergible | 4.84 | 5.56 | 10 |
| P-1993-Y-2 | Bomba trituradora sumergible | 4.84 | 5.56 | 10 |
| B-1900-1 | Blower 1 | 12.6 | 14.49 | 10 |
| B-1900-2 | Blower 2 | 19 | 21.85 | 10 |
| B-1900-3 | Blower 3 | 19 | 21.85 | 10 |
| P-1992-Y-1 | Bomba de retorno de lodos | 4.46 | 5.129 | 10 |
| P-1992-Y-2 | Bomba de retorno de lodos | 4.46 | 5.129 | 10 |
| P-1992-Y-3 | Bomba de filtración | 7.6 | 8.74 | 10 |
| P-1992-Y-4 | Bomba de filtración | 7.6 | 8.74 | 10 |

Nota: Tabla de guardamotores seleccionados, Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña

### 2.4.5 Dimensionamiento de cables de fuerza

El dimensionamiento de cables se hará con base en las normas NEC y se lo puede revisar en el Anexo 7; los métodos de dimensionamiento mínimos a considerar son:

- Dimensionamiento por capacidad de corriente.
- Dimensionamiento por caída de voltaje.

La máxima caída de tensión permitida durante operación normal será de 3%, desde la alimentación principal hasta la carga. De acuerdo a la norma NEC.

## 2.5 Bases y criterios para el diseño de instrumentación y control

### 2.5.1 Conexión de instrumentos digitales y análogos

En la Figura 14, se muestra las entradas y salidas de control que se requiere conectar hacia el PLC, para estas señales se hace necesario realizar los diagramas de conexión de estos elementos como se pueden visualizar en el Anexo 8.

Arquitectura de control

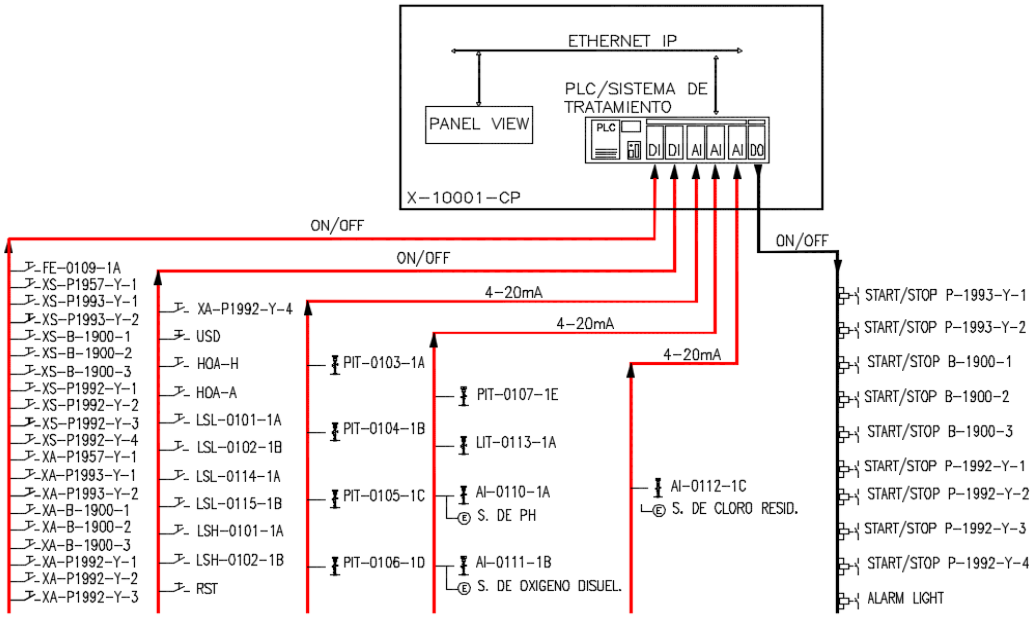



Figura 14. Arquitectura de control del sistema de tratamiento de aguas residuales
Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña

### 2.5.2 Diseño del tablero de control X-10001-CP

El panel permite la conexión de todos los instrumentos de control en dos niveles de voltaje 24 [Vdc] para conexión de señales digitales y 120 [Vac] para conexión de señales análogas. En la parte frontal del panel se instalará un selector (ON/OFF) de energización del tablero, un pulsador tipo hongo que cumple con la función de paro de emergencia (USD – unit shut down) para apagar todo el proceso en caso de existir una falla grave, se tendrá un selector HOA (manual o automático, por sus siglas en inglés) que será el encargado de gobernar los dos estados de control, un pulsador RST para silenciar la alarma luminosa y sonora con la que cuenta el proceso. El diseño completo del tablero se lo puede visualizar en el Anexo 9.

### 2.5.3 Alarmas

Las alarmas presentes dentro del sistema de tratamiento de aguas residuales se las puede revisar en el Anexo 10 y tienen como propósito el indicar al operador de la planta las fallas que pueden suceder a lo largo del proceso, dentro de las cuales se puede tener fallas eléctricas por sobrecargas en los motores o mecánicas por una presión elevada debido alguna obstrucción que pueda sufrir alguna tubería, para lo cual se cuenta con transmisores indicadores de presión, también pueden indicar niveles de agua bajos o altos dentro de cada tanque o finalmente puede indicar cuando los niveles de PH, Oxígeno disuelto o de cloro residual se encuentran fuera de los rangos establecidos en la descripción del proceso. Una alarma critica a considerar dentro del proceso es la generada por el transmisor indicador de presión PIT601-1D ubicado a la salida común de las bombas de retorno de lodos P-1992-Y-1 y P-1992-Y-2 ya que si muestra un valor mayor o igual a 55 [Psig], la tubería debe ser liberada o purgada mediante la válvula PSV 0117-1A y si indica un mayor o igual a los 60 [Psig] se debe apagar las bombas de manera obligatoria.

Las alarmas se las puede identificar de dos formas una de ellas es mediante el HMI ubicado en el panel de control X-10001-CP y para las alarmas que se consideran críticas y que necesitan de una acción correctiva inmediata se tiene una baliza con una sirena incorporada a ser instalada en la parte superior de la planta, la cual podrá ser silenciada mediante el pulsador RST ubicado en el panel de control X-10001-CP.

## 2.6 Transmisores, sensores y controladores

### 2.6.1 Controlador de oxígeno disuelto AI-0111-1B y PH AI-0110-1A

El controlador seleccionado pertenece a la marca Hach Lange, serie SC2-00, con características técnicas como se muestra en la Tabla 7. Este es un controlador dedicado para aplicaciones de aguas residuales industriales, gestionado por menús y controlado por un microprocesador que permite la lectura de los valores medidos por el sensor.

Tabla 7.
Especificaciones Hach Lage SC200

| Especificaciones SC 200 | |
|---|---|
| **Alimentación** | De 100 a 240 Vac, 50/60 Hz<br>O 24VDC -15%, +20% |
| **Comunicación** | MODBUS RS232 / RS485<br>Hard (Opcional, trasmisión de datos) |
| **Temperatura de operación** | -20 a 60 °C, con carga del sensor inferior a 7 W y<br>-20 a 50 °C con carga del sensor inferior a 28 W |
| **Entrada** | Digital |
| **Salidas Analógicas** | Dos salidas analógicas (0-20 mA o 4-20 mA) |
| **Relés** | Cuatro contactos electromecánicos limitados:<br>- A 250 Vac, 5A (Carga resistiva)<br>- A 24 VDC, 5A (Carga resistiva) |
| **Relés: Modo de funcionamiento** | Temporizador, Control de alimentador, Sistema de alarma |
| **Cubierta electrónica** | NEMA4X / IP66 |

Nota: Tabla de los parámetros técnicos, Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña

- **Módulos para PH y oxígeno disuelto**

El controlador seleccionado requiere un módulo para PH con características técnicas como se muestra en Tabla 8 y un módulo para oxígeno disuelto con características técnicas como se muestra en la Tabla 9 que sean compatibles con el equipo y además procesen la información de los sensores de la marca Hach Lange.

Tabla 8.
Especificaciones del módulo para PH

| Especificaciones modulo SC 200 PH | |
|---|---|
| **Rango de medición** | 0 a 14 unidades de PH. |
| **Precisión** | Sensor de PH diferencial: -2 a 14 unidades de PH. |
| **Tiempo de respuesta** | 0,5 segundos |
| **Repetibilidad** | 0.1% de la escala |
| **Estabilidad** | 0.03 PH por 24 horas; 2 mV |

Nota: Tabla de los parámetros técnicos, Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña

Tabla 9.
Especificaciones del módulo para OD (oxígeno disuelto)

| Especificaciones modulo SC 200 OD | |
|---|---|
| **Escala de medición** | 0 a 40 ppm |
| **Repetibilidad / Precisión** | ±0,05% / 0,1% del rango (si la conductividad de la muestra es <10 mS/cm) |
| **Tiempo de respuesta** | 1 segundos |
| **Intervalo de temperaturas** | 0 a 50 °C (±32 a 122 °F) |

Nota: Tabla de los parámetros técnicos, Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña

### 2.6.2 Sensor de oxígeno disuelto y PH

El controlador seleccionado requiere la conexión de un elemento primario que se encargue de censar el oxígeno disuelto y el PH del agua, por esto que se ha seleccionado los sensores de la marca Hach Lange con parámetros técnicos indicados en la Tabla 10 y Tabla 11.

Tabla 10.
Especificaciones del sensor de oxígeno disuelto

| Especificaciones sensor de oxígeno disuelto | |
|---|---|
| **Temperatura de servicio** | 0 a 50 °C (32 a 122 °F) |
| **Elemento de temperatura** | Termistor NTC de 30 kΩ |
| **Presión máxima** | 10 bar (145 psi) |
| **Tiempo de respuesta** | 180 segundos al 90% del valor al cambiar al paso |
| **Velocidad mínima** | 0,5 cm por segundo |

Nota: Tabla de los parámetros técnicos, Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña

Tabla 11.
Especificaciones del sensor de PH

| Especificaciones sensor de PH | |
|---|---|
| **Temperatura de funcionamiento** | -5 a 105 °C (23 a 221 °F) |
| **Elemento de temperatura** | Termistor NTC300 |
| **Cable del sensor** | PH: 5 conductores (más 2 blindajes), 6 m (20 pies) |
| **Límite de presión** | 6.9 bar a 105 ºC (100 psi a 221 ºF) |
| **Tiempo de respuesta** | 180 segundos al 90% del valor al cambiar al paso |
| **Medida máxima del caudal** | 3 m/s (10 pies/s) |

Nota: Tabla de los parámetros técnicos, Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña

### 2.6.3 Analizador de cloro libre residual AI-0112-1C

El analizador seleccionado para medir el cloro libre residual en el agua pertenece a la marca Hach Lange con número de parte CLT10sc y CLF10sc.
Las características técnicas del analizador se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12.
Especificaciones del analizador de cloro residual

| Especificaciones de CLT10sc y CLF10sc | |
|---|---|
| **Descripción del componente** | Panel del analizador de control cloro amperométrico sin reactivos, con sensor de cloro, de flujo, PH de combinación opcional o PH diferencial, celdas de flujo, controlador sc y gateway digital. |
| **Temperatura de almacenamiento (sólo el panel)** | –20 a 60 °C (–4 a 149 °F) |
| **Requerimientos de alimentación** | 12 V CC ± 10%, 100 mA máximo (suministrada por el controlador sc) |
| **Caudal** | Rango: 30–50 l/hora (7,9–13,2 gal/hora)<br>Óptimo: 40 l/hora (10,5 gal/hora) |

Nota: Tabla de los parámetros técnicos, Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña

### 2.6.4 Transmisor indicador de flujo FIT-0109-1A

El transmisor indicador de flujo seleccionado pertenece a la marca Seametrics con número de parte: WMP101, su alimentación se la realiza por un cable de 5 pines los cuales proporcionan una salida de pulsos para un uso variado de controles o displays que se pueden utilizar para monitoreo remoto o a su vez conversión de pulsos a [mA]. Para la entrada del PLC se considera una entrada de conteo rápido y transformar los pulsos recibidos. Las características técnicas del transmisor indicador de flujo se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13.
Especificaciones del transmisor indicador de flujo

| Especificaciones de WMP101 | |
|---|---|
| **Presión de trabajo** | 150 psi a 70 °C |
| **Exactitud** | ±1% (entre 10 y 100% del flujo máximo)<br>±3% (entre apagado y 10% del flujo máximo) |
| **Flujo mínimo** | 6 GPM |
| **Flujo máximo** | 300 GPM |
| **Alimentación** | 10-30 VDC, 60 mA |
| **Señal de salida de pulsos** | Pulso de corriente de amortización,<br>32 VDC, 10 mA (Máximo) |

Nota: Tabla de los parámetros técnicos, Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña

### 2.6.5 Transmisor indicador de nivel LIT-0113-1A

El transmisor pertenece a la marca Flowline con número de parte: EchoSpan LU80-5101, este transmisor de nivel por ultrasonido para usos generales donde se incluye líquidos corrosivos, agua ultra puros y también líquidos pegajosos o sucios.
Las características técnicas del transmisor se muestran en la Tabla 14.

Tabla 14.
Especificaciones del transmisor indicador de nivel

| Especificaciones de EchoSpan LU80-5101 | |
|---|---|
| **Salida** | 4-20 mA en 2 hilos |
| **Rango** | 10 cm a 3 m |
| **Precisión** | ±0,2% |
| **Alimentación** | 12-28 VDC |
| **Temperatura de proceso** | -20 a 60 °C |
| **Cubierta electrónica** | NEMA4X / IP65 |

Nota: Tabla de los parámetros técnicos, Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña

### 2.6.6 Indicador de presión diferencial PDI-0116-1A

El indicador de presión diferencia pertenece a la marca Ashcroft con número de parte: 25 1130FD 25S XC4 30#, cuyos parámetros técnicos se muestran en la Tabla 15.

Tabla 15.
Especificaciones del indicador de presión diferencial

| Especificaciones de ASHCROFT 1130 | |
|---|---|
| **Exactitud Ascendente** | ±0,2% |
| **Rango** | 0–5 psid a 150 psid |
| **Precisión** | ±0,2% |
| **Máxima presión estática** | 3000 psi |
| **Temperatura de proceso** | 80 °C/ 175 °F |

Nota: Tabla de los parámetros técnicos, Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña

### 2.6.7 Transmisor de presión PIT-0103-1A/ 0104-1B/ 0105-1C/ 0106-1D/ 0107-1E

- Los transmisores serán electrónicos con señal de salida de 4 a 20 [mA], tipo Hart con pantalla LCD (pantalla líquida para indicación local), el cero y el rango del spam serán ajustables.

- El transmisor estará diseñado para soportar una sobre presión de 1.5 veces su rango de trabajo y también el vacío absoluto, sin requerir recalibración.

- La precisión será al menos de +/- 0.1 % del rango. El transmisor podrá aceptar variaciones en el voltaje de suministro entre 18 y 28 [Vdc], tendrá protección contra transientes, descargas eléctricas de tipo atmosférico e interferencias de radiofrecuencia RF.

- El rango del transmisor será seleccionado de tal forma que la presión de operación se encuentre entre un límite del 40 % y un 75 % del rango y adicional a esto la presión máxima no debe exceder el tope del rango.

El transmisor indicador de flujo seleccionado pertenece a la marca Ashcroft con número de parte: *30 2174 S D 02 L XBK CY 100#*, mostrado en la Tabla 16.

Tabla 16.
Especificaciones de transmisión de presión

| Especificaciones de Ashcroft 2174 | |
|---|---|
| **Rangos De Presión** | -14.7 TO 100 psig |
| **Límites De Temperatura Del Proceso** | 14/140°F (−10/60°C) |
| **Tipo de Pantalla** | LCD |
| **Opciones de Alimentación** | 4-20mA Loop Powered: 12-36 Vdc, mA with unlimited turndown (within gauge range) |
| **Cubierta electrónica** | Weatherproof IP65 |

Nota: Tabla de los parámetros técnicos, Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña

### 2.6.8 Instrumentos para medición de nivel

- Los interruptores de nivel serán tipo flotador y especificado con un rango ajustable de acuerdo con el nivel total del tanque a medir.
- Los interruptores de presión serán especificados con salida de contacto seco, con un rating de 5 [A] a 30 [Vdc], mínimo.
- La carcasa será a prueba de intemperie.

## 2.7 Controlador lógico programable - PLC

Para el desarrollo del proyecto se contempla 31 entradas digitales las cuales cumplirán la función de procesar los pulsos de entrada del sistema para el control automático de la planta, una entrada de conteo de pulsos rápidos para el control del flujómetro dispuesto en el proceso, 9 entradas analógicas para comandar la lectura de los sensores del proceso y 10 salidas digitales del PLC para cumplir con las necesidades planteadas.

Es necesario que se disponga una comunicación Ethernet para poder interactuar con el panel view, encargado de la visualización del proceso. También se debe considerar un mínimo de dos entradas análogas, dos entradas digitales y dos salidas digitales de reserva en todo el sistema en caso de que el proceso en un futuro demande procesar otros factores o variables. El controlador debe tener una alimentación de 120 [Vac].
Dado la descripción anterior se ha seleccionado el PLC Micrologix 1400 de la marca Allen Bradley con número de parte 1766-L32BWA y con características técnicas como se muestra en la Tabla 17.

Tabla 17.
Especificaciones PLC Micrologix 1400 1766-L32BWA

| Especificaciones de PLC 1766-L32BWA | |
|---|---|
| **Alimentación** | 120/240 VAC |
| **Memoria** | Memoria no volátil almacenada en RAM |
| **Programa de usuario/ Programa de datos de usuario** | 10 K / 10 K configurables |
| **Registro de datos / Almacenamiento de formulas** | 128 K (Sin almacenamiento) / sobre los 64 K (después de sustraer los registros de datos) |
| **Batería de respaldo** | Si |
| **Entradas digitales** | 12 rápidas a 24VDC<br>8 normales a 24VDC<br>20 a 120VAC |
| **Salidas Digitales** | 12 tipo relé |
| **E / S Análogas** | Ninguna |
| **Puerto serial** | (1) RS232C /RS485<br>(1) RS232C |
| **Puerto Ethernet** | (1) 10 / 100 EtherNet / IP port |
| **Potenciómetros** | 2 Digitales |
| **Temperatura de trabajo** | -20 a 60 °C |

Nota: Tabla de los parámetros técnicos, Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña

- **Módulo de entradas digitales**

Para el PLC es necesario seleccionar un módulo adicional de entradas digitales que sea compatible con el equipo utilizado, por esta razón se ha optado por el módulo 1762-IQ16 de la marca Allen Bradley. Las características técnicas del módulo de entradas digitales se muestran en la Tabla 18.

Tabla 18.
Especificaciones del módulo de entradas digitales

| Especificaciones de 1762-IQ16 | |
|---|---|
| **Entradas** | 16 |
| **Alimentación** | 24 VDC |
| **Voltaje de operación** | 10 a 26.4 VDC |
| **Corriente máxima** | 12 mA a 30 VDC |
| **Señal de Delay máxima** | On / Off: 8 ms |
| **Consumo de corriente máxima** | 70 mA a 5 VDC (0.25 W) |

Nota: Tabla de los parámetros técnicos, Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña

- **Módulo de entradas análogas**

Ya que el PLC seleccionado no posee entradas analógicas se utilizaron tres módulos de entradas análogas con número de parte: 1762-IF4 de expansión de la marca Allen Bradley con características técnicas como se muestran en la Tabla 19.

Tabla 19.
Especificaciones del módulo de entradas análogas

| Especificaciones de 1762-IF4 | |
|---|---|
| **Entradas** | 4 |
| **Consumo de corriente máxima** | 40 mA a 5 VDC<br>50 mA a 24 VDC |
| **Precisión** | ±0.32% (-20 a 65 °C / -4 a 149 °F)<br>±0.24% (25 °C / 77 °F) |
| **Resolución** | 15 bits |

Nota: Tabla de los parámetros técnicos, Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña

### 2.7.1 Diagramas de flujo del sistema de control

En función de lo planteado en la sección referente a la descripción del proceso en conjunto con lo expuesto en la sección correspondiente a las alarmas presentes dentro de la planta se ha desarrollado los diagramas de flujo del sistema de control como se muestran en el Anexo 11, los cuales muestran de manera detallada en cada una de las etapas del proceso las variables que intervienen.

## 2.8 Panel view

La pantalla seleccionada para realizar el HMI pertenece a la marca Allen Bradley con número de parte: C1000 y con características técnicas como se muestra en la Tabla 20.

Tabla 20.
Especificaciones técnicas del panel view

| Especificaciones de C1000 | |
|---|---|
| **Tamaño de la pantalla** | 211 x 158 mm |
| **Resolución (pixeles)** | 640 x 480 |
| **Tipo** | Touch (Análogo) |
| **Alimentación** | 18 – 30 VDC (24 VDC nominal) |
| **Potencia de consumo** | 18 W (0,75 A / 24VDC) |

Nota: Tabla de los parámetros técnicos, Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña

### 2.8.1 Creación de las páginas de visualización para la HMI

Para realizar la programación gráfica de las etapas que componen el proceso en donde se pueda visualizar la operación, las fallas y alarmas de la planta se han seleccionado la pantalla táctil C1000 la cual brinda un software interno llamado PanelView Component donde se diseña y programa la interface gráfica, al cual se puede conectar de forma directa mediante el puerto Ethernet y para acceder al software se lo debe realizar por medio de un buscador web tal como Microsoft Internet Explorer o Mozilla Firefox.

Una interface gráfica amigable entre el proceso y el operador ha sido diseñado como se muestran en las Figuras 17, 18, 19, 20 y 21 a las cuales se puede acceder pulsando sobre cualquier botón ubicado en la parte inferior de la página principal como se muestra en la Figura 16, dentro de cada página se puede observar las gráficas de bombas, tuberías e instrumentación, para las bombas se tiene un recuadro que cambiara de color e indican si el apagado o falla eléctrica, para los niveles de agua dentro del tanque se tiene los switch de nivel que indicaran nivel alto o bajo mediante una luz indicadora que cambiara de color dependiendo el nivel de agua presente en el tanque, para los instrumentos de medición se cuenta con un cuadro que simula a un display para observar los valores de medición.

Tanque de almacenamiento de agua

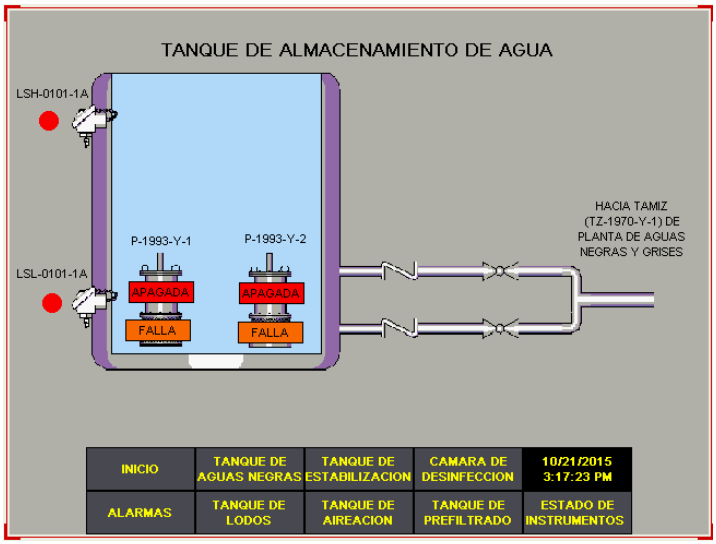



Figura 15. Diagrama del proceso del tanque de captación T-1970-Y-1
Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña

## Retorno de lodos

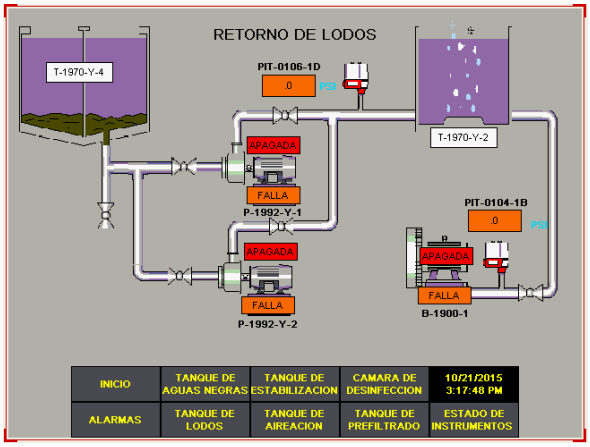



Figura 16. Diagrama del proceso de retorno de lodos.
Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña

## Ingreso de aguas residuales a tamiz TZ-1970-Y-1

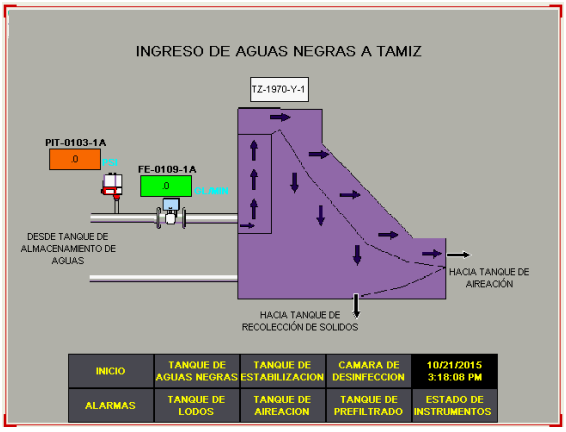



Figura 17. Diagrama del proceso de ingreso de aguas al Tamiz.
Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña

## Tanque de aireación de aguas residuales

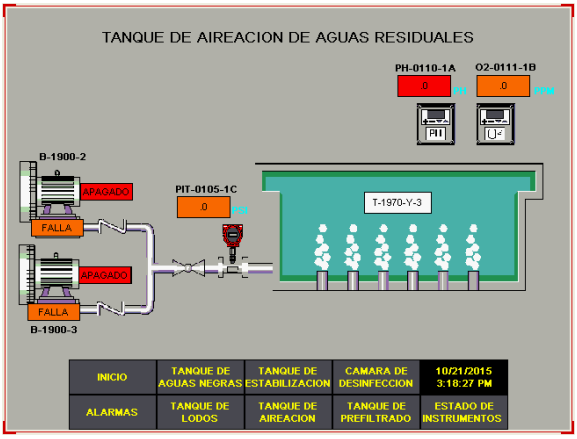



Figura 18. Diagrama del proceso del tanque de aireación de aguas residuales.
Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña

Cámara de desinfección

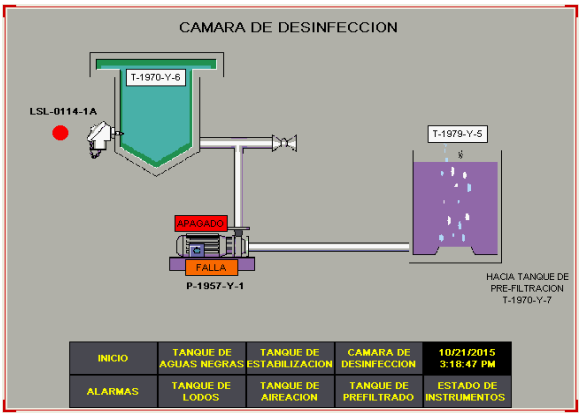



Figura 19. Diagrama del proceso de cloración del agua.
Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña

Proceso de prefiltrado

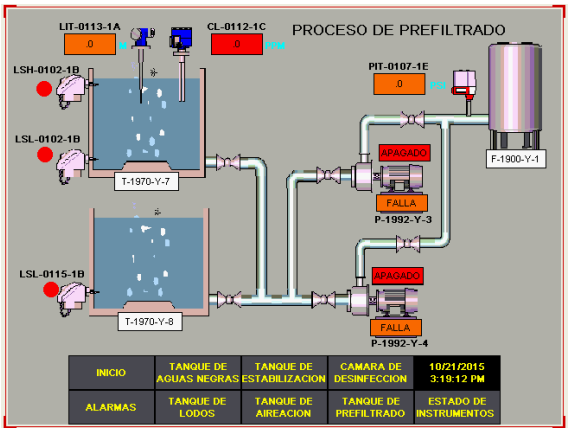



Figura 20. Diagrama del proceso de filtración final del agua
Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña

En la Figura 22, se observan los parámetros que interviene en el sistema donde se puede monitorizar todos los equipos además de conocer si está en modo automático o en modo manual mediante el selector ubicado en la parte inferior.

Alarmas y parámetros de medición

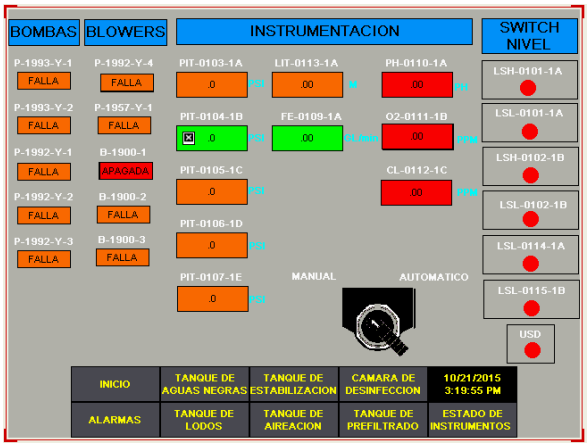



Figura 21. Pantalla de visualización de monitoreo de equipos eléctricos
Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña

En la Figura 23, se observa la página donde se registran todas las alarmas que se producen dentro de la planta, aquí se especifican de forma detallada la hora y fecha así como una breve descripción del tipo de falla que se ha producido, además con el botón ACK presente en el Panel View se registra en esta pantalla cuando y a qué hora fue reconocida la alarma por el operario.

Historial de alarmas

Figura 22. Pantalla de visualización de históricos para alamas por fallas eléctricas
Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña

## 2.9 Tuberías eléctricas

Las rutas de tuberías para las señales de la instrumentación y eléctrico serán diseñadas de acuerdo con los siguientes criterios:

- Para rutas de tuberías se conservarán sistemas independientes de transporte para circuitos de potencia de bajo voltaje y control e instrumentación, para evitar influencias electromagnéticas entre los mismos y observando los métodos de apantallamiento según manifiestan las normas respectivas (Petroecuador, s.f., pág. 165).
- Los cables con señales analógicas y discretas se pueden canalizar por la misma tubería.
- La capacidad máxima de ocupación máxima de conductores en ductos será de acuerdo con NEC como se indica en la Tabla 21, con factores de ajuste para 1, 2, 3 o más conductores.

Tabla 21.
Porcentaje útil en ductos para cables eléctricos

| **Número de cables** | 1 | 2 | 3 o mas |
|---|---|---|---|
| **Área de llenado** | 53% | 31% | 40% |

Fuente: (Curso de instalaciones eléctricas, 2008), Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña

- **Selección de tuberías eléctricas**

De acuerdo con las condiciones ambientales a las cuales van a estar expuestos equipos y tuberías se ha seleccionado tubería eléctrica metálica (E.M.T.) como se muestra en la Tabla 22 con acabado en acero galvanizado que brinda una resistencia muy grande frente a la corrosión y son ideales para la conducción de cables eléctricos de potencia y los cables de instrumentación.

Tabla 22.
Tubería eléctrica

| **Tubería Eléctrica** | Longitud [m] | Cedula | Material |
|---|---|---|---|
| | 3 | 80 | Acero galvanizado |

Nota: Características técnicas de tubería eléctrica, Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña

# Capítulo 3

## Montaje de equipos, pruebas y resultados

En presente capítulo se presenta el montaje de los tableros eléctricos encargados de alimentar y controlar el proceso de la planta, también el montaje de instrumentos de control acorde a lo requerido y especificado en el capítulo 2 y finalmente se presentan las pruebas realizadas para verificar y certificar el funcionamiento del sistema eléctrico e instrumentación y control de la planta han sido realizadas dentro de las instalaciones de la empresa AWT. SA., junto al personal técnico, quien es el encargado de validar el correcto funcionamiento del proceso, del mismo modo, las autoridades designadas por parte de la Universidad Politécnica Salesiana han verificado el correcto funcionamiento del proceso que comprende este proyecto técnico.

### 3.1 Montaje de tableros eléctricos X-10001-PP y X-10001-CP

#### 3.1.1 Montaje del tablero de distribución eléctrico X-10001-PP

El tablero eléctrico se ha construido de acuerdo con el diseño y especificaciones expuestas en el Anexo 3, como se puede observar en las Figuras 23 y 24.

Elementos externos del tablero eléctrico X-10001-PP

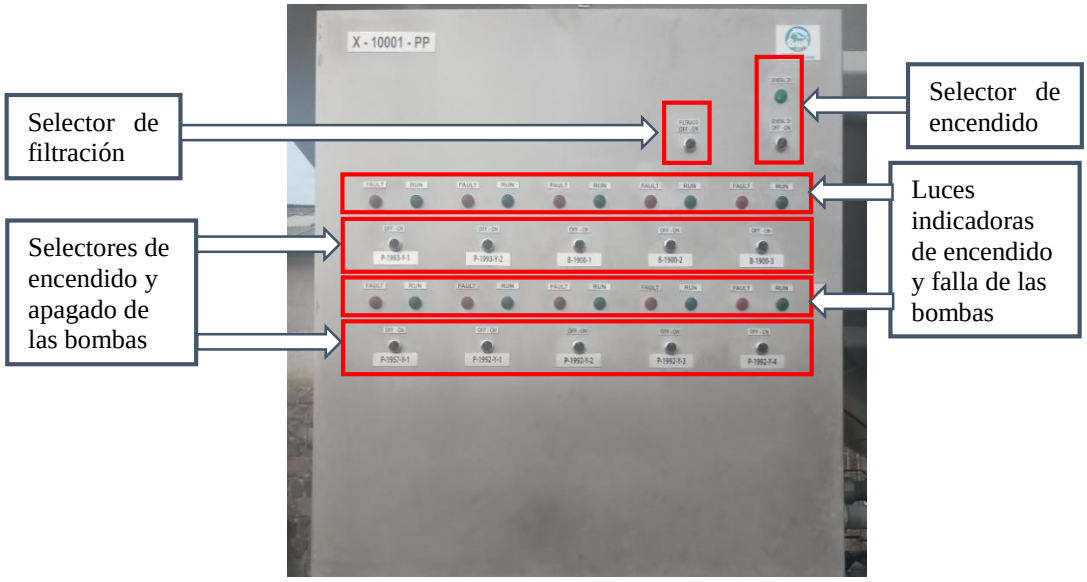



Figura 23. Montaje de elementos externos del tablero eléctrico
Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña

En la parte interna del tablero se ha instalado un breaker de protección principal, las barras de distribución, elementos de control son los guardamotores y contactores, borneras de distribución de potencia de aquí se toma la alimentación de todas las bombas, del lado derecho se tiene un conjunto de relés y un conjunto de borneras para realizar la conexión de todos los circuitos de control, cada uno de los cables tiene su etiquetado para su identificación se pueden observar el Anexo 12.

Elementos internos del tablero eléctrico X-10001-PP

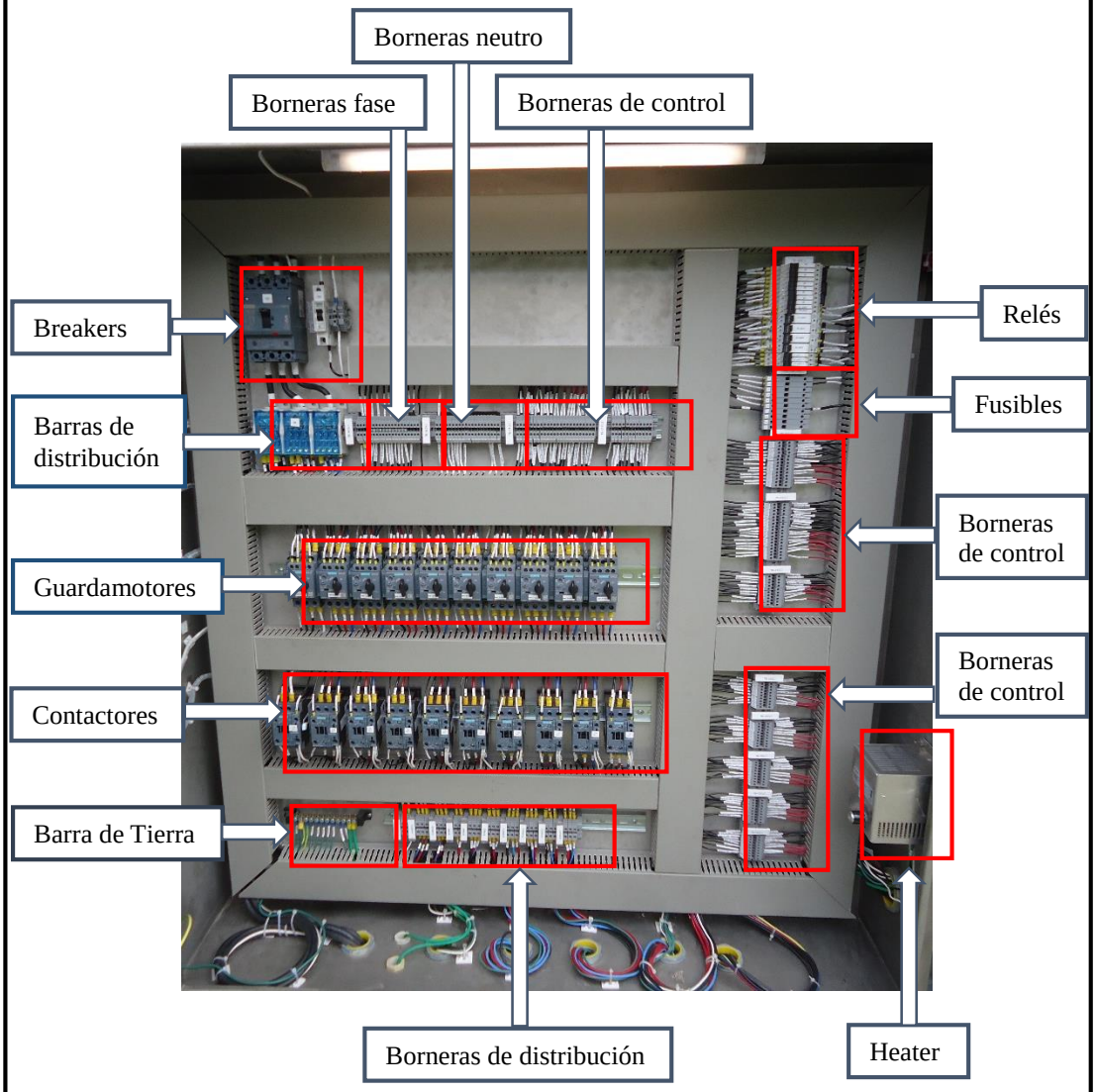



Figura 24. Descripción de los elementos montados en dentro del tablero eléctrico.
Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña

### 3.1.2 Montaje del tablero de control X-10001-CP

El tablero eléctrico se ha construido de acuerdo con el diseño y especificaciones expuestas en el Anexo 9, como se puede observar en las Figuras 25 y 26. Sobre el tablero en su parte frontal se han instalado el panel view para el monitoreo constante del estado de las variables del sistema, se ha colocado los selectores de encendido para energizar al tablero de control y HOA para manipulación de los dos modos manual y automático, también se encuentra un botón pulsador tipo hongo para el paro de emergencia y finalmente se tiene un pulsador para resetear al sistema luego de corregir las fallas presentadas en el proceso.

Elementos externos del tablero de control X-10001-CP

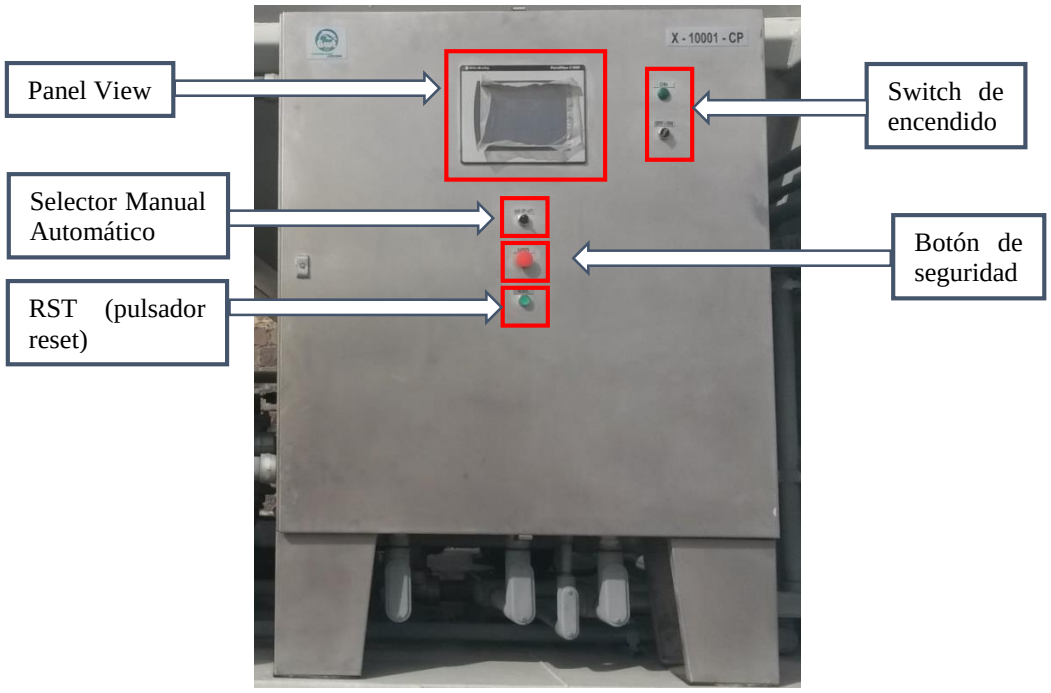



Figura 25. Montaje de elementos externos del tablero de control
Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña

En la parte interna del tablero se ha instalado el PLC encargado del control de las variables que intervienen en el proceso en conjunto con los módulos de entradas y salidas, también se encuentra la fuente de voltaje de 24 [Vdc], borneras para conexión de entradas y salidas digitales como análogas, relés a 24 [Vdc], un tomacorriente que funciona a 120 [Vac] en principio para conexión de equipos de mantenimiento, se tiene también un grupo de borneras para conectar las señales enviadas desde tablero

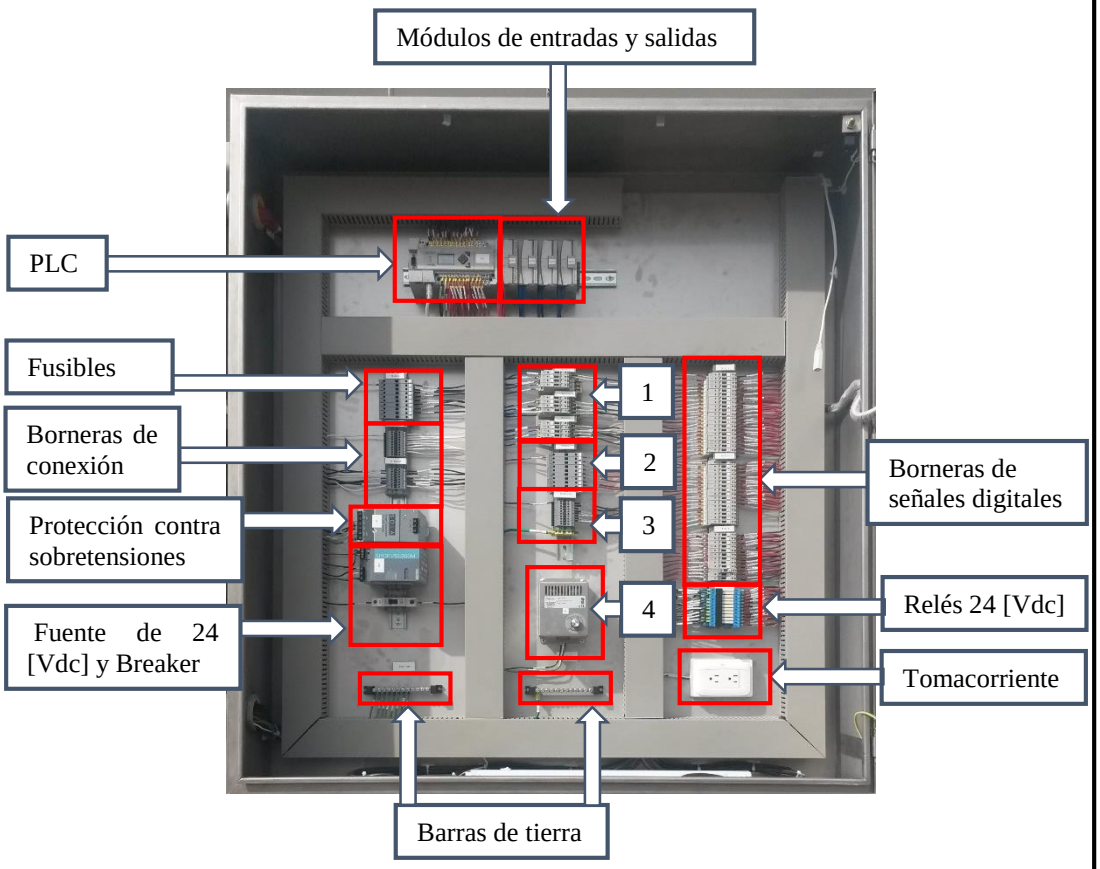
eléctrico X-10001-PP, además de los cables mencionados en la Tabla 23 usados para la conexión de todos los elementos.

Tabla 23.
Tipo de cable empleado para instrumentación

| SERVICIOS | TIPOS DE CABLES |
|---|---|
| Señales de Instrumentación (analógicas / comunicaciones) | Cable para Instrumentación #16AWG o #18 AWG, o Fieldbus #18 AWG. |
| Señales de Instrumentación (digitales) | Cable multiconductor #14AWG |
| Comunicación: | Calibre #20 o #22 AWG |

Nota: Cables utilizados para señales de instrumentación, Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña

Elementos internos del tablero de control X-10001-CP




(1) Borneras de señales análogas; (2) Fusibles; (3) Borneras de conexión; (4) Heater

Figura 26. Descripción de los elementos montados en dentro del tablero de control.
Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña

## 3.2 Montaje y conexión del controlador de OD y PH

Para el montaje como se observa en la Figura 27 y posterior puesta en marcha del controlador se requiere en primer lugar la conexión de los módulos y sensores de acuerdo con las especificaciones dadas por el fabricante y como se muestra posteriormente, la alimentación del controlador se lo realiza a 120 [Vac] tomada desde el panel de control X-10001-CP, el montaje del controlador de lo realiza sobre la superficie externa del tanque de aireación T-1970-Y-3, el ingreso de los cables se lo realiza mediante tubería metálica conduit y manguera flexible para uso eléctrico lo que permite la protección de los cables tanto de ingreso como salida de señales y alimentación del controlador.

El controlador no requiere calibración ya que el fabricante entrega los certificados de calibración realizados tanto para el módulo de PH como para el módulo de $O_2$.
Para conectar el sensor hacia el módulo de PH se lo realiza de acuerdo con la Tabla 24.

Tabla 24.
Cableado del sensor de PH

| Terminal | | Descripción | Sensor Diferencial |
|---|---|---|---|
| 8 pines (J5) | 1 | Referencia | Verde |
| | 2 | Solución de puesta a tierra | Transparente |
| | 3 | Suministro V | Blanco |
| | 4 | - | - |
| | 5 | - | - |
| | 6 | Temp | Amarrillo |
| | 7 | Temp/ Circuito Bajo | Negro |
| | 8 | - | - |
| 2 pines (J4) | 1 | Activo | Rojo |
| | 2 | - | - |
| Cables de blindaje del sensor: Conecte todos los cables de blindaje/tierra a los tornillos de tierra de la carcasa del con controlador | | | Transparente con banda negra |

Nota: Conexión de cables del sensor del pH con el modulo SC-200, Fuente: (Hach Lange, s.f, p. 21), Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña

Para conectar el sensor hacia el módulo de $O_2$ se lo realiza como indica la Tabla 25.

Tabla 25.
Cableado del sensor de oxígeno disuelto

| Terminal | | Descripción | Sensor Diferencial |
|---|---|---|---|
| 8 pines (J5) | 1 | Referencia | Rojo |
| | 2 | - | Puente de conexión a 1 pines J4 |
| | 3 | Suministro V | Verde |
| | 4 | +5V | Azul |
| | 5 | -5V | Blanco |
| | 6 | Temp | Amarillo |
| | 7 | Temp/ -Circuito Bajo | Negro |
| | 8 | Blindaje | Plata(Dos hilos) |
| 2 pines (J4) | 1 | Activo | Puente de conexión a 2 pines J5 |
| | 2 | - | - |

Nota: Conexión de cables del sensor del $O_2$ con el modulo SC-200, Fuente: (Hach Lange, s.f, p. 21), Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña

Módulo de PH y oxígeno disuelto

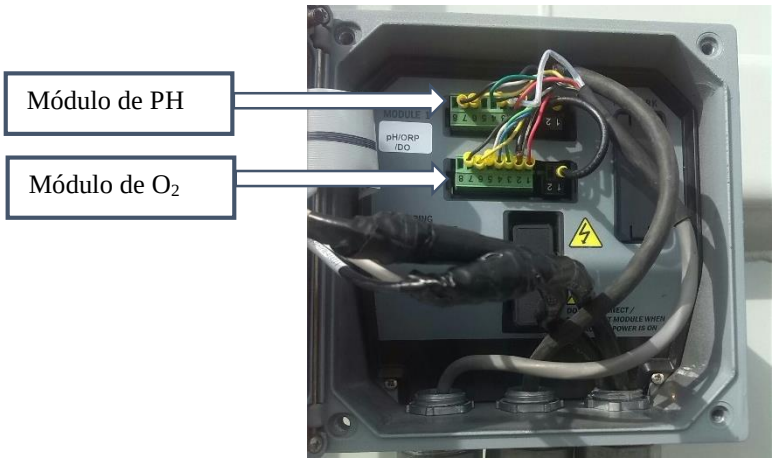



Figura 27. Conexión de módulo de pH y oxígeno disuelto
Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña

El módulo SC-200 ofrece distintas funciones por lo cual se debe configurar el módulo para la medición de pH así como para la medición de oxígeno disuelto, esta configuración se la realiza como se muestra a continuación.

En este caso se escoge la opción 1 para oxígeno disuelto y la opción 4 para pH como indica la Figura 28.

Configuración del módulo SC-200

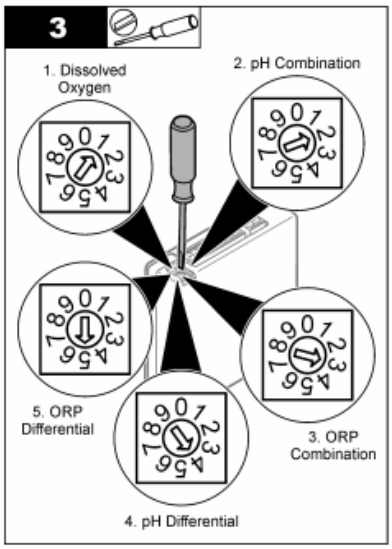



Figura 28. Opciones de medición que ofrece el módulo SC-200
Fuente: (Hach Lange, s.f, p. 23)

El módulo proporciona dos salidas analógicas como se indica en la Figura 29, las cuales sirven para realizar la medición en el PLC de los parámetros de PH y oxígeno disuelto que registra el controlador.

Conexión de salidas analógicas

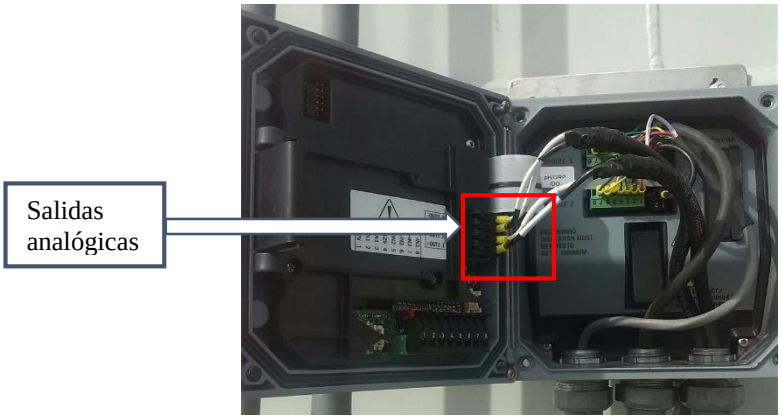



Figura 29. Conexión de salidas analógicas del controlador SC-200
Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña

Una vez realizadas las conexiones y configuraciones internas del controlador se realiza su montaje superficial como se observa en la Figura 30.

Montaje del controlador de PH y OD

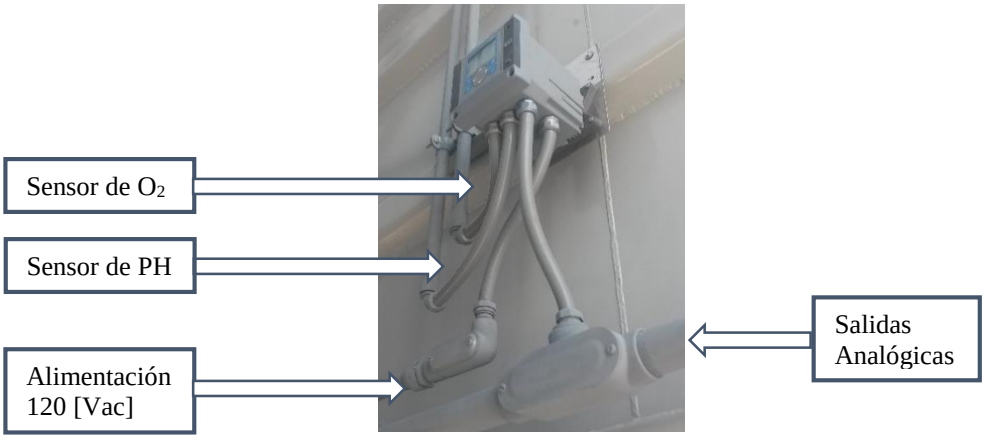



Figura 30. Montaje del controlador SC-200 sobre el tanque de aireación
Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña

### 3.3 Montaje y conexión del analizador de cloro

El analizador de cloro es altamente fiable gracias a la combinación de un controlador del modelo SC en la marca Hach, un sensor de cloro y un sensor de flujo para obtener la mejor función de control. El sensor de cloro se encuentra en una celda de flujo montado en el panel. La celda de flujo mantiene el contacto entre el sensor y la muestra, y ayudan evitar que el sensor se seque cuando el sistema no se encuentre funcionando.

El sensor se conecta al controlador a través de la gateway instalado en el panel. El Gateway convierte las señales analógicas de los sensores en señales digitales que utiliza el controlador. El controlador convierte las señales digitales en los valores de medición de cloro y muestra las lecturas en la pantalla, el controlador suministra alimentación al sensor y al Gateway.

Se recomienda un caudal constante de 30-50 [l/h] para que el sensor funcione correctamente, en el sensor de flujo hay un led que indica si el caudal de la muestra es

suficiente. Mediante el módulo de salidas digitales se lleva la señal hacia el PLC para su posterior control dentro del mismo como se observa en la Figura 31.

Montaje del analizador de cloro

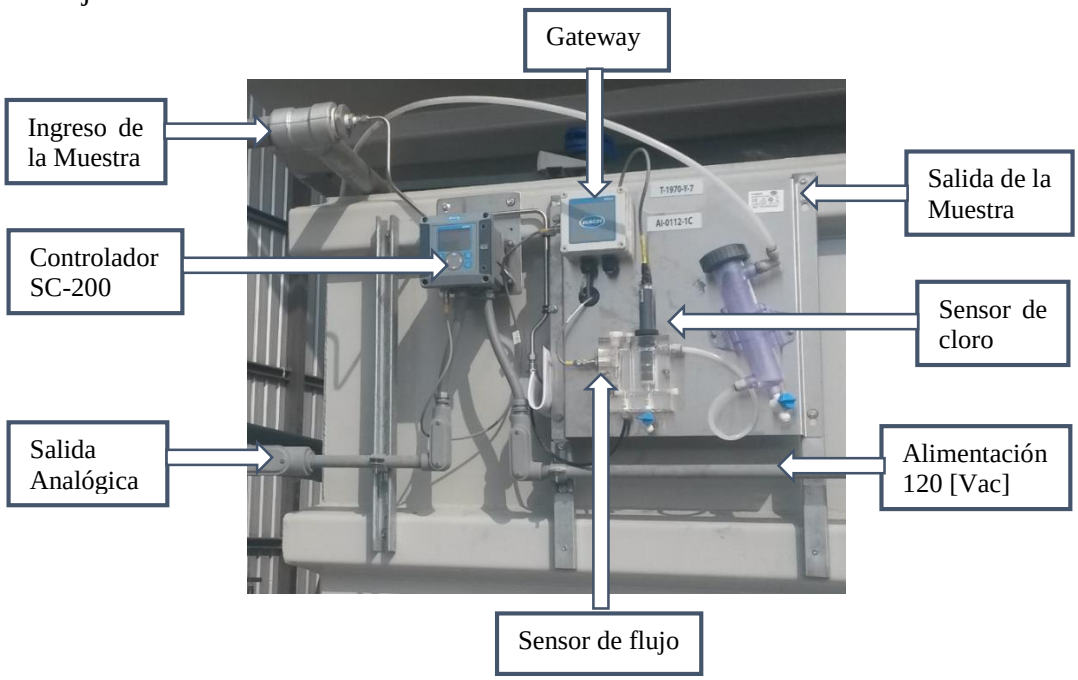



Figura 31. Montaje del analizador de cloro sobre la planta
Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña

### 3.4 Montaje y conexión del transmisor indicador de nivel

El transmisor indicador de nivel se ha instalado encima del tanque de prefiltración T-1970-Y-7 como se indica en la Figura 32 para lo cual se hizo necesario un soporte metálico y así poder ubicarlo en la mitad del tanque para tener una lectura de nivel adecuada. La conexión para la alimentación del transmisor se lo realiza como se indica en la Figura 33.

Montaje del transmisor indicador de nivel

Figura 32. Instalación del transmisor indicador de nivel sobre el tanque de prefiltración T-1970-Y-7
Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña

Conexión del transmisor indicador de nivel

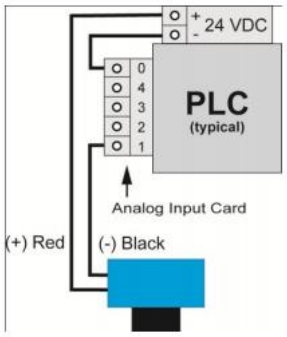



Figura 33. Conexión del transmisor indicador de nivel con el PLC.
Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña

### 3.5 Puesta en marcha de controladores

La puesta en marcha de los controladores se lo realiza como indican los manuales técnicos de cada controlador, los sensores Hach ya vienen calibrados por el fabricante, lo cual garantiza la fiabilidad de los datos y facilita la toma de datos para el proceso.

Para la medición se tiene una solución equivalente a 7 PH y para el oxígeno disuelto se toma la medición del oxígeno disuelto presente en el agua potable como se muestra en las Tablas 26 y 27 respectivamente.

Tabla 26.
Muestras de PH

| Muestra | Tiempo (min) | Temperatura (°C) | SC-200 | HMI |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 24.8 | 6.97 | 6.96 |
| 2 | 5 | 24.8 | 6.97 | 6.96 |
| 3 | 10 | 24.8 | 6.96 | 6.95 |
| 4 | 15 | 24.8 | 6.96 | 6.95 |
| 5 | 20 | 24.8 | 6.96 | 6.95 |
| 6 | 25 | 24.8 | 6.97 | 6.96 |
| 7 | 30 | 24.8 | 6.97 | 6.96 |
| 8 | 35 | 24.8 | 6.97 | 6.96 |
| 9 | 40 | 24.8 | 6.96 | 6.95 |
| 10 | 45 | 24.8 | 6.96 | 6.95 |

Nota: Datos tomados en una muestra de 7 pH, Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña

Tabla 27.
Muestras de oxígeno disuelto

| Muestra | Tiempo (min) | Temperatura (°C) | SC-200 | HMI |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 24.8 | 3.10 | 3.10 |
| 2 | 5 | 24.8 | 3.10 | 3.10 |
| 3 | 10 | 24.8 | 3.14 | 3.14 |
| 4 | 15 | 24.8 | 3.13 | 3.13 |
| 5 | 20 | 24.8 | 3.12 | 3.12 |
| 6 | 25 | 24.8 | 3.12 | 3.12 |
| 7 | 30 | 24.8 | 3.15 | 3.15 |
| 8 | 35 | 24.8 | 3.14 | 3.14 |
| 9 | 40 | 24.8 | 3.11 | 3.11 |
| 10 | 45 | 24.8 | 3.11 | 3.11 |

Nota: Datos tomados del agua potable, Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña

## 3.6 Pruebas de inspección y operación de la planta

Para el inicio de las pruebas de inspección y puesta en marcha, es necesario el cumplimiento de lo expuesto a continuación:

1. El ensamble de los tableros se ha realizado de acuerdo con los planos aprobados.
2. Instalación y conexión de los instrumentos de control en el lugar especificado.
3. Se ha realizado las pruebas 'en-frío' (sin energizar) del conexionado interno de los tableros, así como de los elementos de instrumentación y control.
4. Se tiene conectados las acometidas de alimentación necesarias, tanto para tableros de control y eléctrico como para elementos de instrumentación y control.

Previo a realizar todas las pruebas correspondientes en la planta se tiene que realizar las siguientes inspecciones:

- **Inventario del equipo**

Se realiza la verificación de elementos de los tableros e instrumentos de control como son: sensores, transmisores y controladores, de acuerdo con lo solicitado en planos de la ingeniería de diseño y aprobados para construcción. El objetivo es verificar el estado en el que llegaron.

- **Armado y cableado de tableros e instrumentos de control**

Esta inspección logra certificar que los elementos internos de los tableros, así como sensores, transmisores y controladores hayan sido cableados hacia las diferentes borneras como lo muestran los planos de conexionado, esto se lo realiza mediante la revisión de continuidad del cableado.

- **Energización**

Se procede a energizar de acuerdo con el nivel de voltaje que requiere cada equipo para comprobar su correcto funcionamiento, para esto los breakers de alimentación ubicados en los tableros eléctricos se debe mantener en la posición "OFF" hay que revisar con especial cuidado el voltaje neutro – tierra, para luego conectar el suministro eléctrico y energizar los tableros ubicando en la posición "ON" uno por uno cada breaker del circuito de alimentación identificando antes la sección que se energiza con cada elemento y finalmente se revisan los voltajes de alimentación de cada uno de los equipos de acuerdo con los diagramas de distribución AC/DC.

- **Verificación de las entradas/ salidas del PLC del sistema**

Una vez energizado el panel de control se procede a probar las entradas y salidas del PLC, manteniendo especial seguimiento a los diagramas de conexionado y el listado de Entradas/ Salidas.

- **Protocolo de pruebas en fábrica**

Finalmente, luego de realizar las inspecciones correspondientes en todas las etapas y equipos de la planta se procede con el protocolo de pruebas como se muestra en el Anexo 13, en donde se realiza una inspección rigurosa de todas las etapas del proceso para garantizar que instrumentos, tableros, puesta en marcha y el funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales cumpla con lo establecido en la etapa de diseño. Para realizar las pruebas de funcionamiento se requiere de un multímetro y amperímetro correctamente calibrados para medir niveles de voltaje y corriente. La validación de las pruebas por parte de AWT. SA. se encuentra en el Anexo 14.

## 3.7 Montajes y pruebas realizadas en campo

### 3.7.1 Montaje de transformador seco

El montaje e instalación del transformador se lo muestra en la Figura 34, para lo cual se realizan los siguientes pasos:

- Verificación del corte de energía eléctrica en cables de alimentación en 480 [Vac].
- El ingreso de cables en 480 [Vac] hacia el transformador se lo hizo por cable enterrado dentro de manguera de uso eléctrico y con terminal tipo CGB de 1[in], para la conexión al bobinado primario se usaron terminales tipo talón.
- Se energiza el nivel de 480 [Vac] para verificar el nivel de voltaje de llegada, la medida de voltaje en el primario del transformador arrojo un resultado de 460 [Vac] provocado por la caída de tensión, finalmente, se retira la alimentación y se cambia el Tap de 480 [Vac] a la posición de 460 [Vac].
- Se realiza la conexión del bobinado secundario mediante terminales tipo talón y un HUB de 1 ½[in], para salida hermética de cables portadores de señal de 220 [Vac] trifásica y 110 [Vac] monofásica mediante ruteo de tubería conduit.
- Se realiza la conexión del neutro y la carcasa a la malla de tierra.
- Se realiza el etiquetado de cables para su identificación.
- Por último, se realiza la energización desde el MCC.

Montaje en campo transformador seco

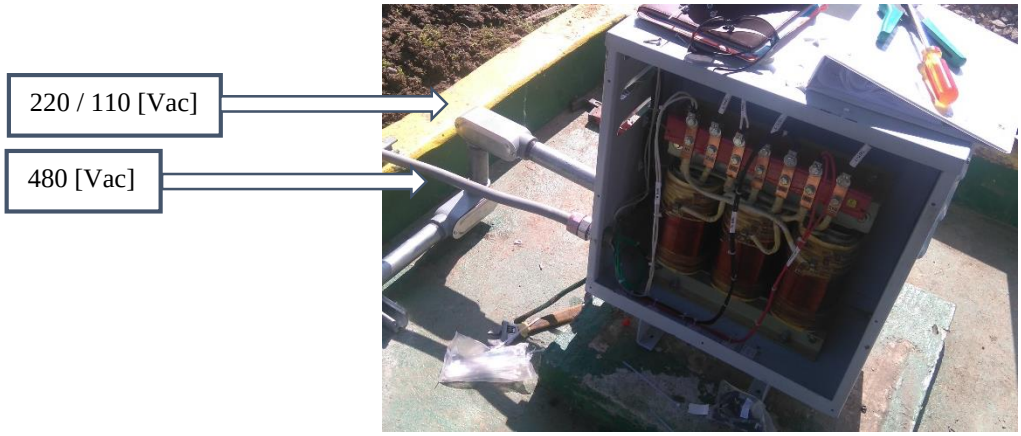



Figura 34. Montaje de transformador seco realizado en campo.
Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña.

En la Figura 35 se presenta las mediciones de voltaje en bobinado secundario y primario, niveles de voltaje requeridos por la planta para su correcto funcionamiento:

Pruebas de medición

(a)

(b)

(c)

(d)

(e)

(a) Voltaje en bobinado primario; (b) Voltaje en bobinado secundario; (c) Voltaje fase-neutro; (d) Voltaje neutro-tierra; (e) Voltaje neutro-chasis aterrado

Figura 35. Medición de niveles de voltaje del transformador seco realizadas en campo
Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña

### 3.7.2 Montaje de las bombas sumergibles del tanque de captación

El montaje de las bombas de captación se lo muestra en la Figura 36, para esto se realizaron los siguientes pasos:

- Se realizó la conexión hidráulica y eléctrica fuera del tanque para posteriormente ser sumergidas dentro del mismo.
- Se comprobó el sentido de giro del motor y corriente en cada fase para verificar el correcto funcionamiento y la regulación del amperaje del guardamotor asociado a cada bomba.
- Se verificó que no existan obstrucciones en la tubería mediante el monitoreo del transmisor indicar de presión asociado y del flujo de ingreso a la planta.

Montaje de bombas sumergibles

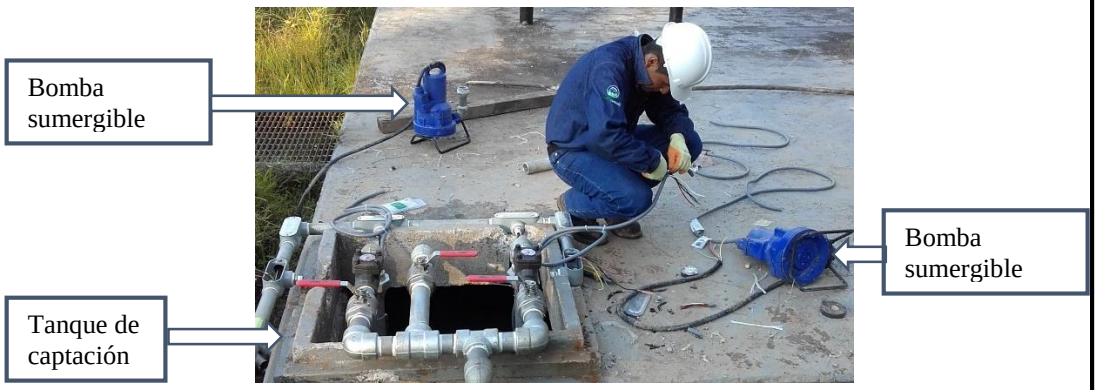



Figura 36. Montaje de bombas sumergible dentro del tanque de captación
Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña

### 3.7.3 Validación de calibración de transmisores de presión

Los transmisores de presión han sido conectados a la línea principal del proceso mediante una válvula de bola la cual tiene la función de aislar el instrumento de la línea principal impidiendo el paso de agua o aire hacia el instrumento y una válvula tipo aguja la cual sirve como purga para estabilizar la medida del instrumento o en caso de mantenimiento para despresurizar la línea de ingreso al PIT como se muestra en la Figura 37.

Para la comprobación de la calibración de los PIT se siguen los siguientes pasos:

- Se coloca la válvula de bola en la posición de cerrado para aislar el instrumento de la línea de flujo.
- Se Abre la válvula de aguja para liberar la presión acumulada en la línea conectada al instrumento y se encera el PIT.
- A la salida de la válvula de aguja se conecta la bomba neumática verificando que el conector macho de la bomba quede bien fijo y seguro (se recomienda usar teflón para evitar fugas de aire al momento de la prueba), se conecta el cable de la bomba al calibrador de procesos, se dispone de un Fluke modelo 754.
- Una vez verificados los pasos anteriores, se revisa que el tapón de la bomba esté cerrado para que no fugue aire y se procede a bombear aire a través de la bomba neumática para generar la presión en el PIT.
- En este punto se procede a comparar los valores proporcionados por el calibrador y los generados en el display del PIT así también como los proyectados en el Panel View para lo cual se realizan pruebas de comparación en tres puntos distintos de presión para validar la calibración del instrumento.
- Finalizado el proceso se libera la válvula de presión, se afloja el conector de la válvula de aguja, se cierra la válvula de aguja y se abre la válvula de bola.

Pruebas de comprobación de calibración

Figura 37. Pruebas en transmisores de presión mediante un calibrador de procesos realizadas en campo
Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña

Tabla 28.
Pruebas en transmisor de presión

| Presión [psi] | Fluke 754 [psi] | PIT [psi] | HMI [psi] |
|---|---|---|---|
| 25 | 25.37 | 25.28 | 25.28 |
| 50 | 50.73 | 50.71 | 50.71 |
| 100 | 99.90 | 99.90 | 99.9 |

Nota: Resultados de pruebas realizadas en campo, Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña.

### 3.7.4 Pruebas de validación de controladores y sensores

Las pruebas para validar la calibración de los sensores y controladores del proceso fueron efectuadas por el personal capacitado, encargados de aprobar el uso de los sensores y controladores para el proceso de tratamiento de aguas residuales.

- **Sensor de oxígeno disuelto y pH:**

La validación se la realizó mediante un analizador de pH equivalente a la marca Hach y un analizador de oxígeno disuelto equivalente a la marca Extech mostrados en la Figura 38, con los cuales se tomaron los datos de medición presentados en la Tabla 29 y 30 respectivamente.

Analizador de pH

(a)

(b)

Figura 38. (a) Analizador de pH, (b) Analizador de oxígeno disuelto
Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña

Tabla 29.
Mediciones de PH

| Muestra | Tiempo (min) | Temperatura (°C) | Instrumento patrón | SC-200 | HMI |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 28.7 | 7.4 | 7.38 | 7.38 |
| 2 | 10 | 28.7 | 7.4 | 7.38 | 7.38 |
| 3 | 20 | 28.9 | 7.4 | 7.38 | 7.38 |
| 4 | 30 | 28.9 | 7.4 | 7.38 | 7.38 |
| 5 | 40 | 28.9 | 7.4 | 7.38 | 7.38 |

Nota: Resultados de pruebas de medición de pH, Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña

Tabla 30.
Medición de oxígeno disuelto

| Muestra | Tiempo (min) | Temperatura (°C) | Instrumento patrón | SC-200 | HMI |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 28.9 | 3.56 | 3.62 | 3.62 |
| 2 | 10 | 28.9 | 3.58 | 3.64 | 3.64 |
| 3 | 20 | 28.9 | 3.58 | 3.64 | 3.64 |
| 4 | 30 | 28.9 | 3.62 | 3.70 | 3.70 |
| 5 | 40 | 28.9 | 3.64 | 3.72 | 3.72 |

Nota: Resultados obtenidos en las pruebas de medición, Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña.

- **Sensor de cloro residual:**

La validación se la realizó mediante un analizador de cloro residual equivalente a la marca Hach mostrado en la Figura 40, el cual arrojo los datos mostrados en la Tabla 31.

Pruebas de cloro residual

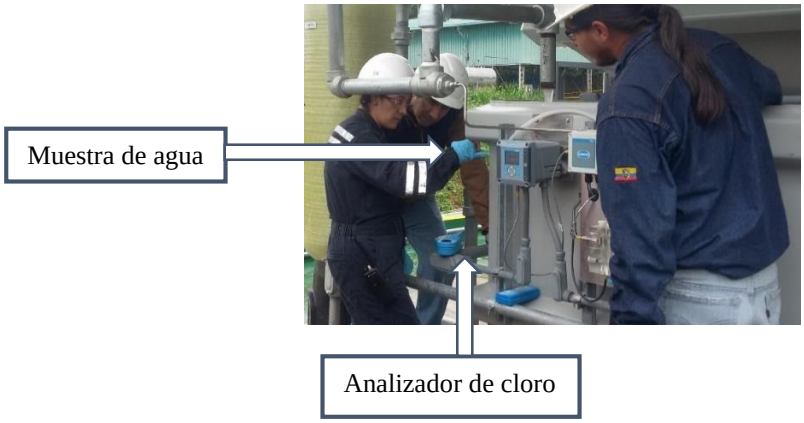



Figura 39. Pruebas de medición de cloro residual
Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña

Tabla 31.
Medición de cloro residual

| Muestra | Tiempo (min) | Instrumento patrón | SC-200 | HMI |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 1.04 | 3.62 | 3.62 |
| 2 | 10 | 1.04 | 3.64 | 3.64 |
| 3 | 20 | 1.05 | 3.64 | 3.64 |
| 4 | 30 | 1.05 | 3.70 | 3.70 |
| 5 | 40 | 1.05 | 3.72 | 3.72 |

Resultados obtenidos en las pruebas de medición, Elaborado por: Freddy Cárdenas y Rafael Catagña

## Conclusiones

- La automatización del proceso de tratamiento de aguas residuales mejoró la calidad del agua efluente, mediante un adecuado diseño e implementación del sistema eléctrico y de control logrando satisfacer las necesidades de la empresa AWT. SA., cumpliendo así con el objetivo planteado al inicio del proyecto.

- La fase más importante dentro de la automatización es el diseño de planos eléctricos y de control por cuanto son la guía para la conexión de todos los dispositivos que intervienen en el proceso, adicional a esto servirán como una base para futuras mejoras y actualizaciones.

- Los tableros construidos en acero inoxidable y con una protección tipo NEMA 4X garantizan que los elementos internos no sean afectados por factores climáticos.

- La selección de contactores y guradamotores se lo realizó en función de un análisis de voltaje y corriente de operación de cada bomba, mediante los resultados obtenidos en las pruebas de funcionamiento realizadas en fábrica y en campo se puede concluir que la selección de estos equipos ha sido la adecuada.

- Mediante las pruebas realizadas en planta y en campo por personal calificado, donde se realizó una comparación entre los resultados entregados por equipos de medición y los resultados entregados por los controladores de oxígeno disuelto, PH y cloro residual, se concluye que la selección de los equipos instalados en la planta cumplen de manera satisfactoria la función de medición de los parámetros.

- Mediante una correcta y organizada programación realizada dentro del controlador lógico programable PLC se logró el control y procesamiento de todas las variables que intervienen en la planta.

- Se consiguió un diseño del entorno gráfico dentro de la pantalla touch que ayuda en la monitorización del proceso de tratamiento de aguas residuales y es completamente amigable y de fácil interacción para el operador de la planta por cuanto le permite la visualización de los valores de medición en controladores y transmisores, al mismo tiempo que indica los estados de operación de sensores y bombas.

- Mediante la programación de la pantalla touch se consiguió la visualización de todas las etapas de operación lo cual permite identificar de manera inmediata el lugar específico dentro de la planta donde pueden suceder fallas.

- Se logró realizar el encendido de los diez motores de forma manual mediante un arranque directo y utilizando los selectores ubicados en la parte frontal del panel eléctrico, así como también se logró realizar el encendido de forma automática mediante el control realizado por el PLC ubicado en el panel de control, de esta forma, se garantiza el correcto funcionamiento de cada motor en todas las etapas del tratamiento de aguas residuales.

- Luego de una minuciosa evaluación e inspección de cada una de las etapas que componen el proceso de la planta de tratamientos de agua residual por parte de personal capacitado dentro de la fábrica como en campo luego de su montaje se concluye que se ha conseguido una automatización eficiente que cumple con todos los objetivos planteados cumpliendo así las necesidades solicitadas por parte de la empresa AWT. SA.

## Recomendaciones

- Para procesos continuos donde se requiere que bombas y motores eléctricos operen durante 24 horas, por motivos de seguridad se recomienda disponer de un elemento primario y un back (respaldo), esto con motivo de facilitar el mantenimiento o en su defecto si llega a existir alguna falla en el elemento primario su back entre en funcionamiento de forma inmediata para evitar parar el proceso.

- Para procesos continuos donde se tiene dos bombas o motores eléctricos trabajando de forma alternada y asociados al mismo proceso, se recomienda optimizar la vida útil de las bombas mediante la correcta asignación de tiempos de operación, para lo cual se debe considerar que el tiempo de operación de la primera bomba sea mucho mayor que el tiempo de operación de la segunda bomba, con lo cual se evita parar del proceso.

- La programación del PLC debe ser realizada en forma ordenada, colocando los símbolos asignados a cada uno de las entradas del PLC así como también las salidas y bits internos de programación, esto con el motivo de seguir una lógica de programación fácil de entender.

- Dentro del PLC se debe realizar una programación estructurada considerando una adecuada jerarquía de llamadas desde las respectivas subrutinas de manejo de entradas, salidas y procesamiento de las variables hacia el programa principal.

- Para facilidad del programador se recomienda escoger un flujómetro de señal de 4-20 [mA] ya que dentro de las diferentes gamas de PLC’s el procesamiento de este tipo de señal es muy semejante.

- Por facilidades de mantenimiento o futuros cambios de equipos es necesario realizar un marquillado de todos los cables que intervienen en el proceso que muestre claramente en una corta descripción donde se debe realizar su conexión.

- Para una correcta selección de protecciones de motores eléctricos se debe corroborar los datos técnicos de placa de motores con los datos que se especifican en el diseño teniendo especial cuidado en potencia, voltaje y corriente de operación ya que son los datos con los cuales se realizan los cálculos.

- La especificación del área clasificada en el cual se va a trabajar es fundamental para la selección de equipos eléctricos y electrónicos por cuanto pueden brindar protecciones adicionales en caso de ser necesarios en especial en ambientes explosivos.

- Para trabajos con equipos eléctricos y electrónicos se recomienda realizar su aterramiento a una malla de tierra con la finalidad de evacuar lo más pronto hacia la superficie terrestre una posible corriente de cortocircuito y así salvaguardar a los equipos que intervienen en el sistema.

- Debido a los resultados obtenidos en este proyecto de titulación en conjunto con la preocupación del estado ecuatoriano por mantener un agua libre de impurezas y así conseguir un medio ambiente que brinde las garantías para que se desarrolle la vida animal y vegetal se recomienda desarrollar trabajos de esta índole que ayuden no solo sirven para adquirir nuevos conocimientos y avances tecnológicos.

## Lista de referencias


Creus, A. (2010). *Instrumentación Industrial.* Mexico: Alfaomega.

Curso de instalaciones eléctricas. (2008, Junio). *http://cursosdeelectricidad.blogspot.com/.* Retrieved from http://cursosdeelectricidad.blogspot.com

Earley, P.E., M. W., Sargent, J. S., Coache, C. D., & Roux, R. J. (2011). *National electric code handbook.* Quincy, Massachuset: Courier / Kendallville.

Enríquez Harper, G. (2003). *Protección de instalaciones eléctricas industriales y comerciales.* Mexico D.F.: Limusa.

González Olbarría, P. (2013). *Platas de tratamiento de aguas, equipos electromecánicos, ingeniería constructiva.* Madrid: AMV Ediciones.

Grupo Imferra. (2012, Octubre 13). *slideshare.net.* Retrieved from http://www.slideshare.net

Hach Lange. (s.f). *hach.com.* Retrieved from http://www.hach.com

Likinormas. (2014, Enero 1). Retrieved from likinormas Web site: http://likinormas.micodensa.com

Maloney, T. J. (2006). *Electrónica Industrial Moderna.* Mexico D.F.: Pearson educación.

Maraña, J. C. (2005). *Intrumentación y control de procesos.* Idom.

McIntyre, R. L. (1975). *Control de motores eléctricos.* Barcelona: Macombo.

Noboa Bejarano, G. (2001, Febrero 2). Decreto Ejecutivo 1215. *Legislacion ambiental ecuatoriana*. Quito, Pichincha, Ecuador: Presidencia de la Republica del Ecuador.

Petroecuador. (s.f.). *Acerca de nosotros: Petroecuador Ep.* Retrieved from Ep Petroecuador Web site: http://www4.eppetroecuador.ec

Siemens Industry, Inc. (2015, Abril 20). *industry.usa.siemens.com.* Retrieved from http://www.industry.usa.siemens.com

Wildi, T. (2007). *Máquinas eléctricas y sistemas de potencia.* Mexico D.F.: Pearson educación.

# Anexos

## Anexo 1. Simbología de instrumentos

- **Código de identificación de instrumentos. ISA-S5.1-84 (R-1992)**

| PRIMERA LETRA | | | LETRAS SUCESIVAS | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **Variable medida o inicial** | **Letra de modificación** | **Lectura o función de lectura pasiva** | **Función de salida** | **Letra de modificación** |
| A | Análisis | | Alarma | | |
| B | Quemador, combustión | | Libre | Libre | Libre |
| C | Libre | | | Control | |
| D | Libre | Diferencial | | | |
| E | Tensión (f.e.m.) | | Sensor (Elemento primario) | | |
| F | Caudal | Relación | | | |
| G | Libre | | Vidrio, Dispositivo visión | | |
| H | Manual | | | | Alto |
| I | Corriente (eléctrica) | | Indicar | | |
| J | Potencia | Exploración | | | |
| K | Tiempo, programación tiempo | Variación de tiempo | | Estación de control | |
| L | Nivel | | Luz | | Bajo |
| M | Libre | Momentáneo | | | Medio, Intermedio |
| N | Libre | | Libre | Libre | Libre |
| O | Libre | | Orificio, Restricción | | |
| P | Presión, Vacío | | Punto (Ensayo) Conexión | | |
| Q | Cantidad | Integrar, Totalizar | | | |
| R | Radiación | | Registro | | |
| S | Velocidad, Frecuencia | Seguridad | | Interruptor | |
| T | Temperatura | | | Transmisión | |
| U | Multivariable | | Multifunción | Multifunción | Multifunción |
| V | Vibración, Análisis mecánico | | | Válvula, Regulador tiro, Persiana | |
| W | Peso, fuerza | | Vaina, Sonda | | |
| X | Sin clasificar | Eje X | Sin clasificar | Sin clasificar | Sin clasificar |
| Y | Evento, Estado o Presencia | Eje Y | | Relé, Cálculo, Conversión | |
| Z | Posición, Dimensión | Eje Z | | Motor, Actuador, Elemento final de control sin clasificar | |

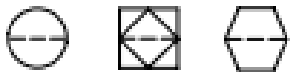
- **Símbolos de instrumentos**

| LOCALIZACIÓN / TIPO | LOCALIZACIÓN PRIMARIA NORMALMENTE ACCESIBLE AL OPERADOR ** | MONTADO EN EL CAMPO | LOCALIZACIÓN AUXILIAR NORMALMENTE ACCESIBLE AL OPERADOR ** |
|---|---|---|---|
| INSTRUMENTACIÓN DISCRETA | 1 IP1* | 2 | 3 |
| INSTRUMENTACIÓN CON FUNCIONES O PANTALLA COMPARTIDA | 4 | 5 | 6 |
| COMPUTADOR | 7 | 8 | 9 |
| CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE | 10 | 11 | 12 |

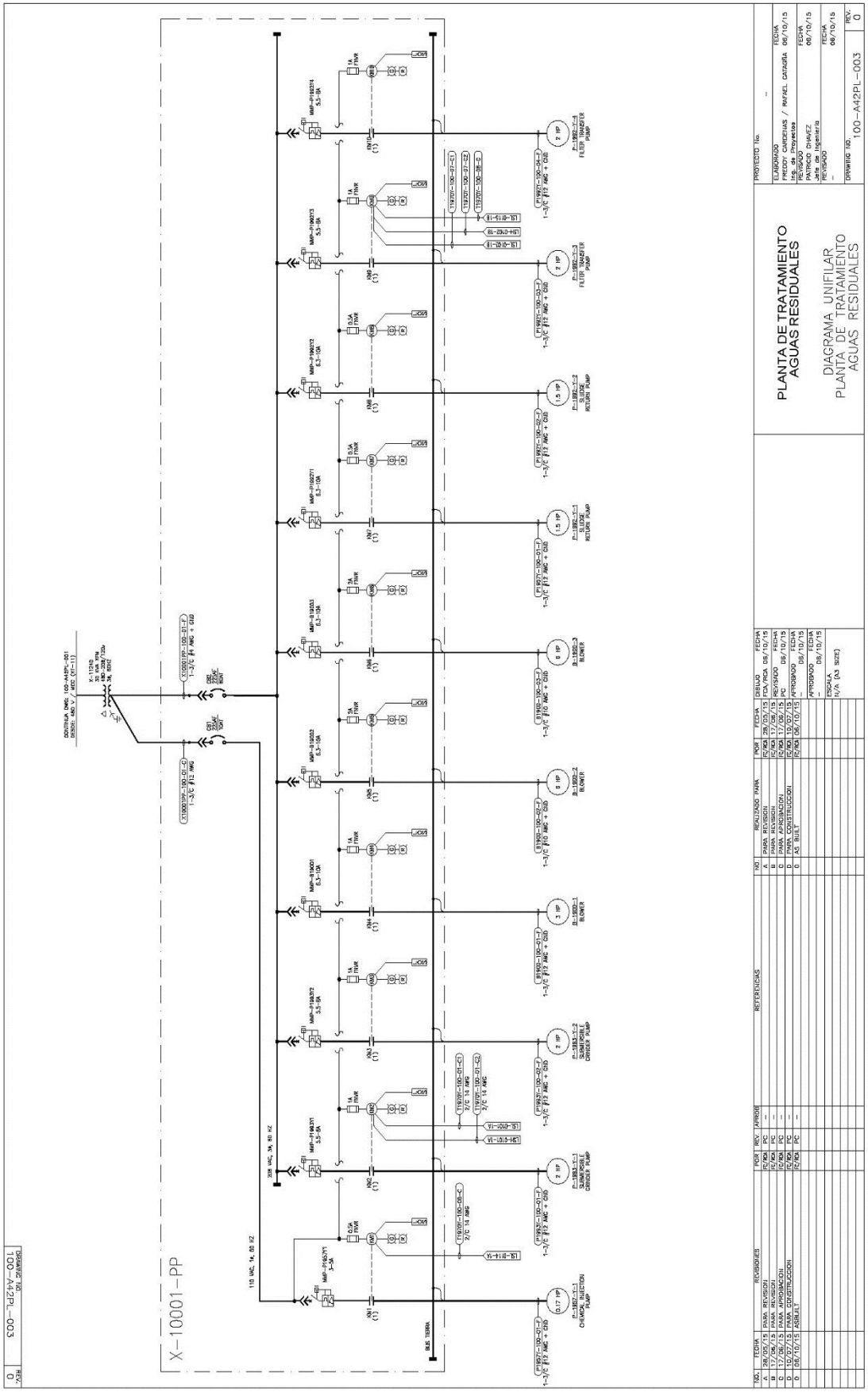
NOTA: EL TAMAÑO DE LOS SÍMBOLOS PUEDE VARIAR DE ACUERDO A LAS NECESIDADES DEL USUARIO. ES RECOMENDABLE SER CONSISTENTE.

* ABREVIATURAS ESCOGIDAS POR EL USUARIO TALES COMO IP1 (INSTRUMENTO PANEL # 1) PUEDEN SER USADAS CUANDO SE NECESITA ESPECIFICAR LA LOCALIZACION DE UN INSTRUMENTO O FUNCIÓN.

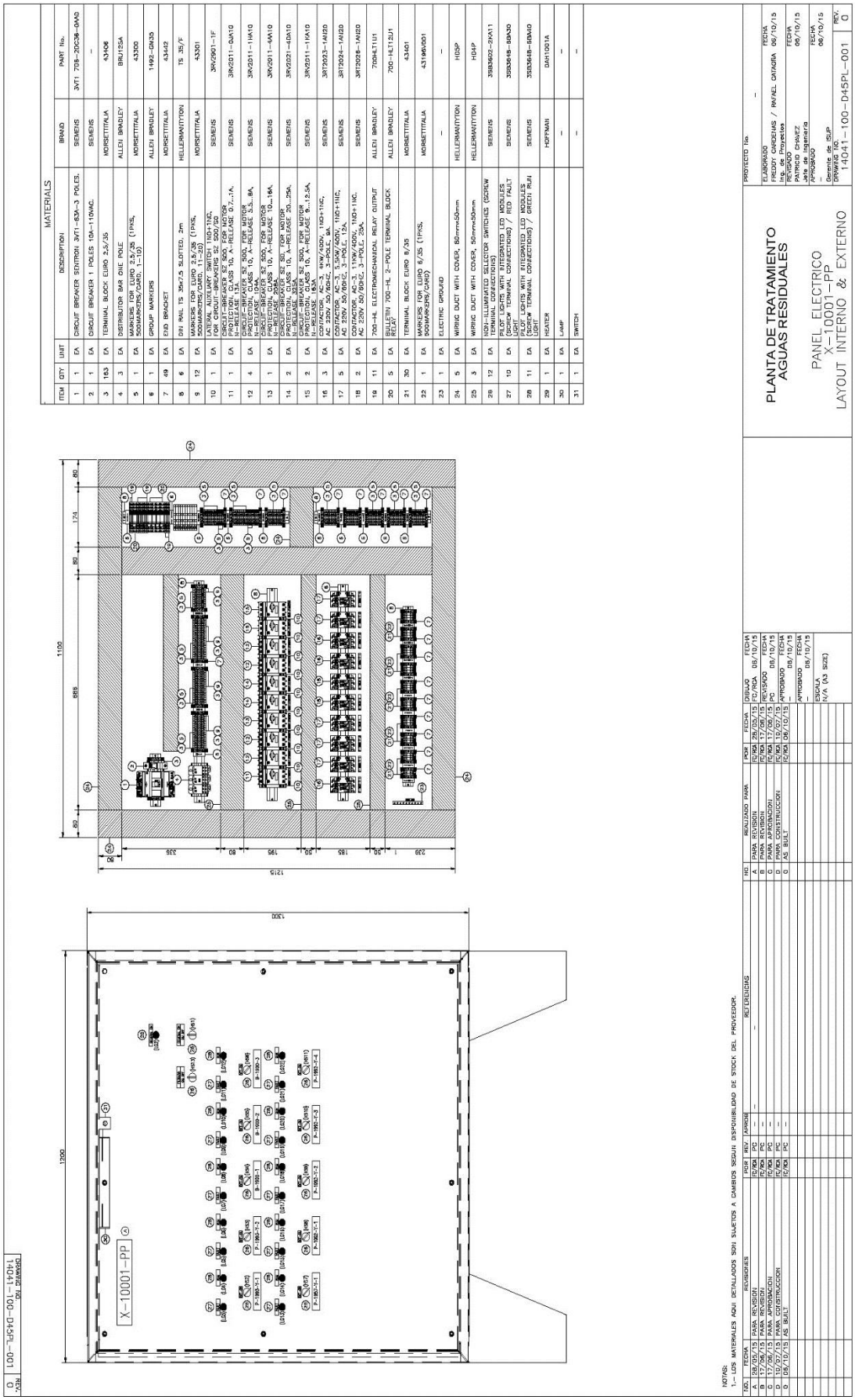
** FUNCIONES O DISPOSITIVOS NORMALMENTE INACCESIBLES O DETRAS DEL PANEL PUEDEN SER REPRESENTADOS USANDO LOS MISMOS SÍMBOLOS PERO CON UNA LÍNEA HORIZONTAL DISCONTINUA, EJ.



Anexo 2. Diseño del diagrama unifilar



Anexo 3. Diseño de tablero eléctrico



Anexo 4. Condiciones de encendido y apagado de motores

- **Parámetros de encendido y apagado en modo manual**

| Bomba | SW | Luces V: Verde R: Rojo | Modo de operación | Condiciones | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Encendido | Apagado |
| P-1993-Y-1 | HS2 | R: LG3 V: LG4 | Alternada o también las dos al mismo tiempo. **NOTA 1** | LSL-0114-1A es mayor a 0.30 [m] | LSL-0114-1A es menor a 0.30 [m] |
| P-1993-Y-2 | HS3 | R: LG5 V: LG6 | | | |
| B-1900-1 | HS4 | R: LG7 V: LG8 | Funcionará 20 [h] y descansará 4 [h] | El encendido estará a criterio del operador. | El apagado estará a criterio del operador. |
| B-1900-2 | HS5 | R: LG9 V: LG10 | De manera alternada o los dos al mismo tiempo **NOTA 1** | Si AI-0111-1B llega a enviar un valor menor a 2 [ppm] se deberán encender las dos Blowers | Si AI-0111-1B llega a enviar un valor mayor a 8 [ppm] se deberán apagar las dos Blowers |
| B-1900-3 | HS6 | R: LG5 V: LG6 | | | |
| P-1957-Y-1 | HS7 | R: LG13 V: LG14 | Continuo | Si P-1993-Y-1 o P-1993-Y-2 están encendidas LSL-0114-1A es mayor a 0.25 [m] | LSL-0114-1A es menor a 0.25 [m] |
| P-1992-Y-1 | HS8 | R: LG15 V: LG16 | De manera alternada o las dos al mismo tiempo **NOTA 1** | El encendido estará a criterio del operador. | PIT-0106-1D indica un valor mayor o igual a los 60 [Psig]. |
| P-1992-Y-2 | HS9 | R: LG17 V: LG18 | | | |
| P-1992-Y-3 | HS10 | R: LG19 V: LG20 | +** Alternada o también las dos al mismo tiempo **NOTA 1** | +PDI-0116-1A marca 15 psi +LSL-0115-1B es mayor a 0.25 [m]<br><br>**HS13 posición FILTRAR **LSL-0102-1B es mayor a 0.3 [m] **LIT-0113-1A es igual o mayor a 1.15 [m] | +PDI-0116-1A es menor a 15 psi o +LSL-0115-1B es menor a 0.25 [m]<br><br>** HS13 posición NO FILTRAR **LSL-0102-1B es menor a 0.3 [m] |
| P-1992-Y-4 | HS11 | R: LG21 V: LG22 | | | |

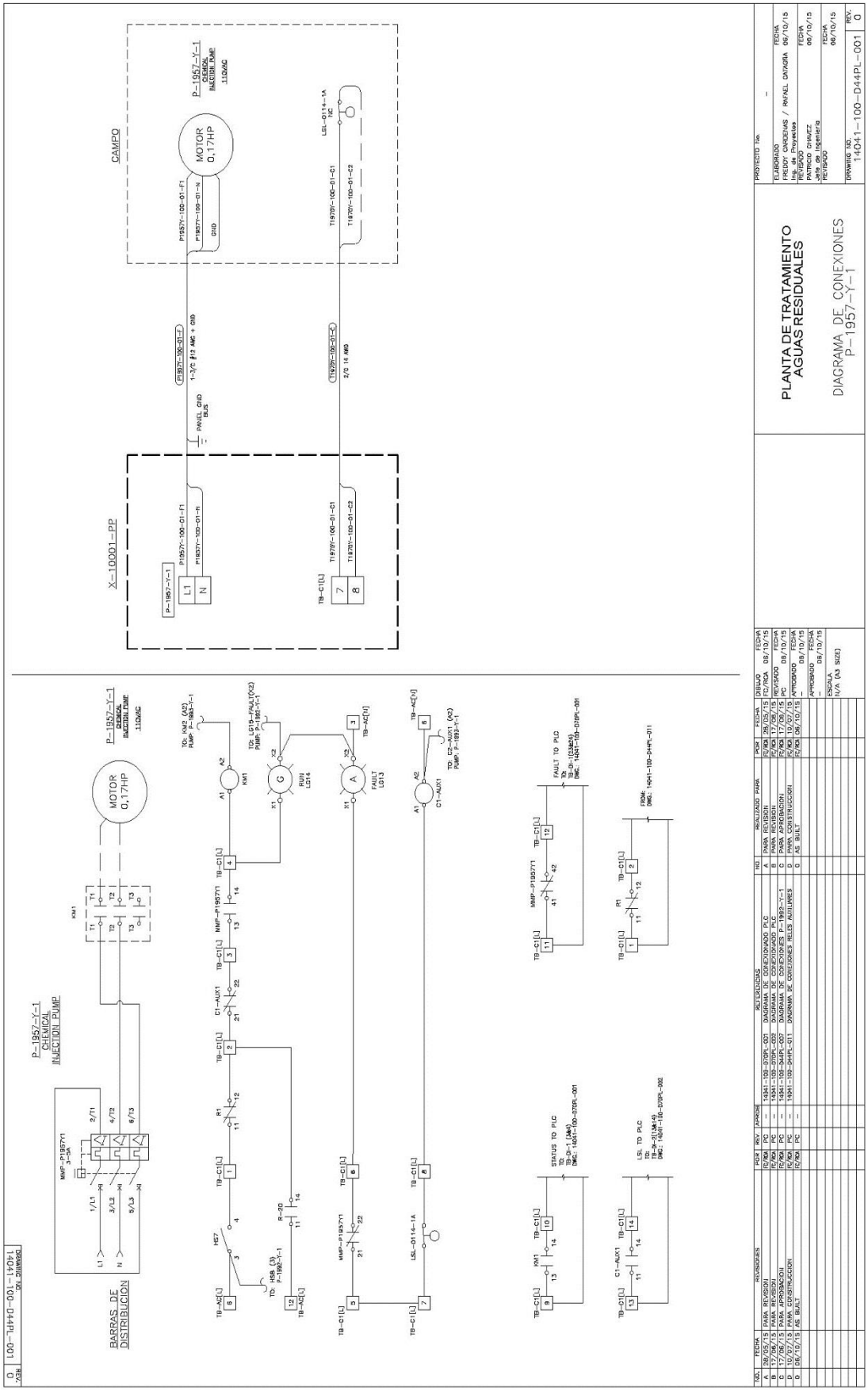
+Proceso de retro lavado; **Proceso de filtrado; NOTA 1: En caso de que una de las dos bombas entre en fallo su back (respaldo) podrá entrar en funcionamiento.

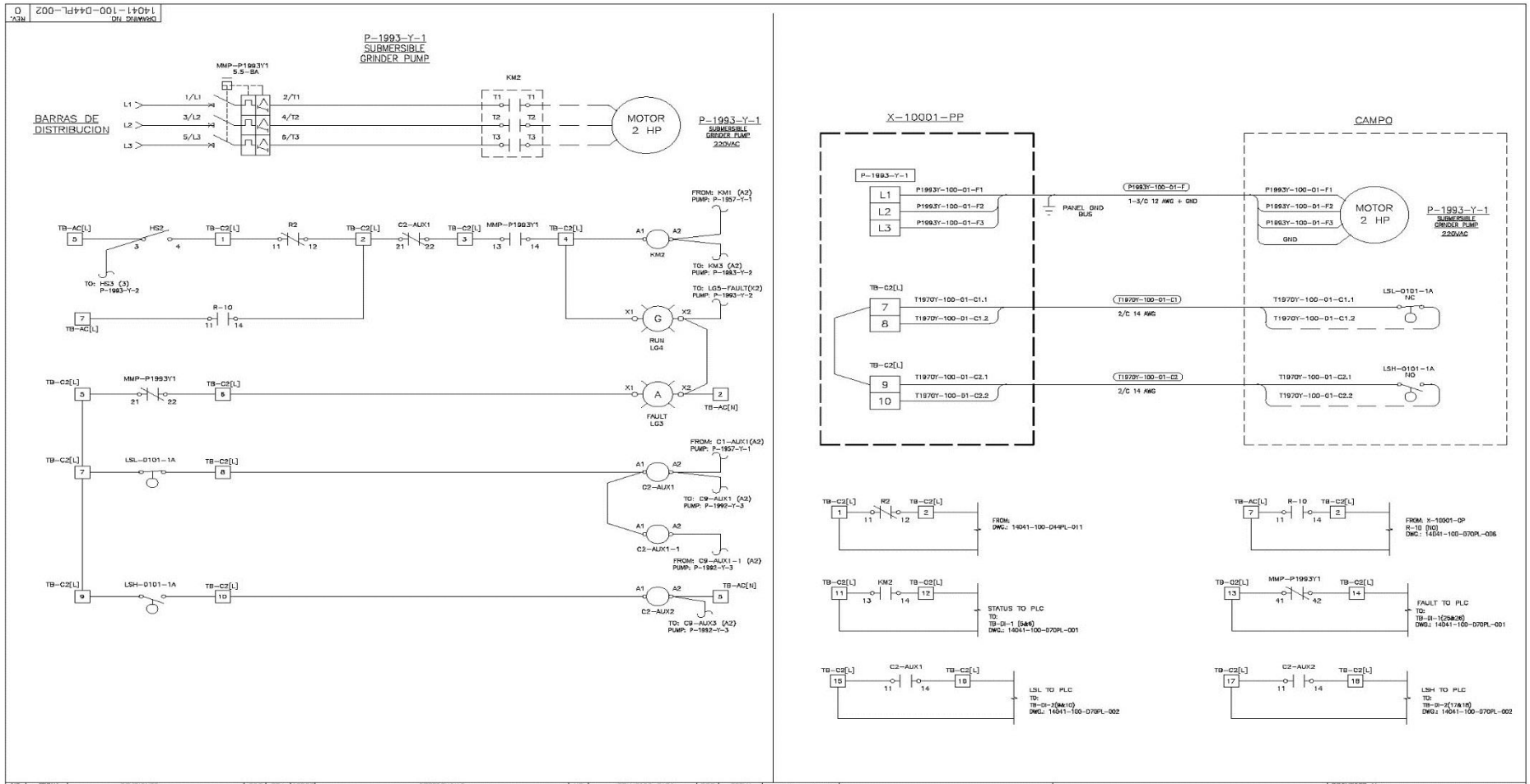
- **Parámetros de encendido y apagado en modo automático**

| Bomba | Luces<br>V: Verde<br>R: Rojo | Tiempo de operación | Condiciones | |
|---|---|---|---|---|
| | | | **Encendido** | **Apagado** |
| P-1993-Y-1 | R: LG3<br>V: LG4 | Alternada, 18 [h] bomba primaria y 6 [h] back up o las dos al mismo tiempo.<br>**NOTA 1** | LSL-0114-1A es mayor a 0.30 [m]<br>LSH-0114-1A es mayor o igual a 2 [m] | LSL-0114-1A es menor a 0.30 [m] |
| P-1993-Y-2 | R: LG5<br>V: LG6 | | | |
| B-1900-1 | R: LG7<br>V: LG8 | Funcionará 20 [h] y descansara 4 [h] | El encendido estará a criterio del operador. | El apagado estará a criterio del operador. |
| B-1900-2 | R: LG9<br>V: LG10 | De manera alternada en intervalos de 6 [h]<br>*( Si AI-0111-1B indica un valor entre 2 – 8 mg/l)*<br>**NOTA 1** | Si AI-0111-1B llega a enviar un valor menor a 2 [ppm] se deberán encender los dos Blowers | Si AI-0111-1B llega a enviar un valor mayor a 8 [ppm] se deberán apagar los dos Blowers |
| B-1900-3 | R: LG5<br>V: LG6 | | | |
| P-1957-Y-1 | R: LG13<br>V: LG14 | Continuo | Si P-1993-Y-1 o P-1993-Y-2 están encendidas<br>LSL-0114-1A mayor a 0.25 [m] | LSL-0114-1A menor a 0.25 [m] |
| P-1992-Y-1 | R: LG15<br>V: LG16 | Alternada, 18 [h] bomba primaria y 6 [h] back up<br>**NOTA 1** | El encendido estará a criterio del operador. | PIT-0106-1D indica un valor mayor o igual a los 60 [Psig]. |
| P-1992-Y-2 | R: LG17<br>V: LG18 | | | |
| P-1992-Y-3 | R: LG19<br>V: LG20 | Alternada, 18 [h] bomba primaria y 6 [h] back up o las dos al mismo tiempo.<br>**NOTA 1** | HS13 posición FILTRAR<br>LSL-0102-1B mayor a 0.3 [m]<br>LSH-0102-1B mayor a 1 [m]<br>LIT-0113-1A igual a 1.15 [m] | HS13 posición NO FILTRAR<br>LSL-0102-1B menor a 0.3 [m] |
| P-1992-Y-4 | R: LG21<br>V: LG22 | | | |

NOTA 1: En caso de que una de las dos bombas entre en fallo su back (respaldo) podrá entrar en funcionamiento continuo hasta que se repare el error.

Anexo 5. Diseño de diagramas de control para arranque de bombas en modo manual y automático





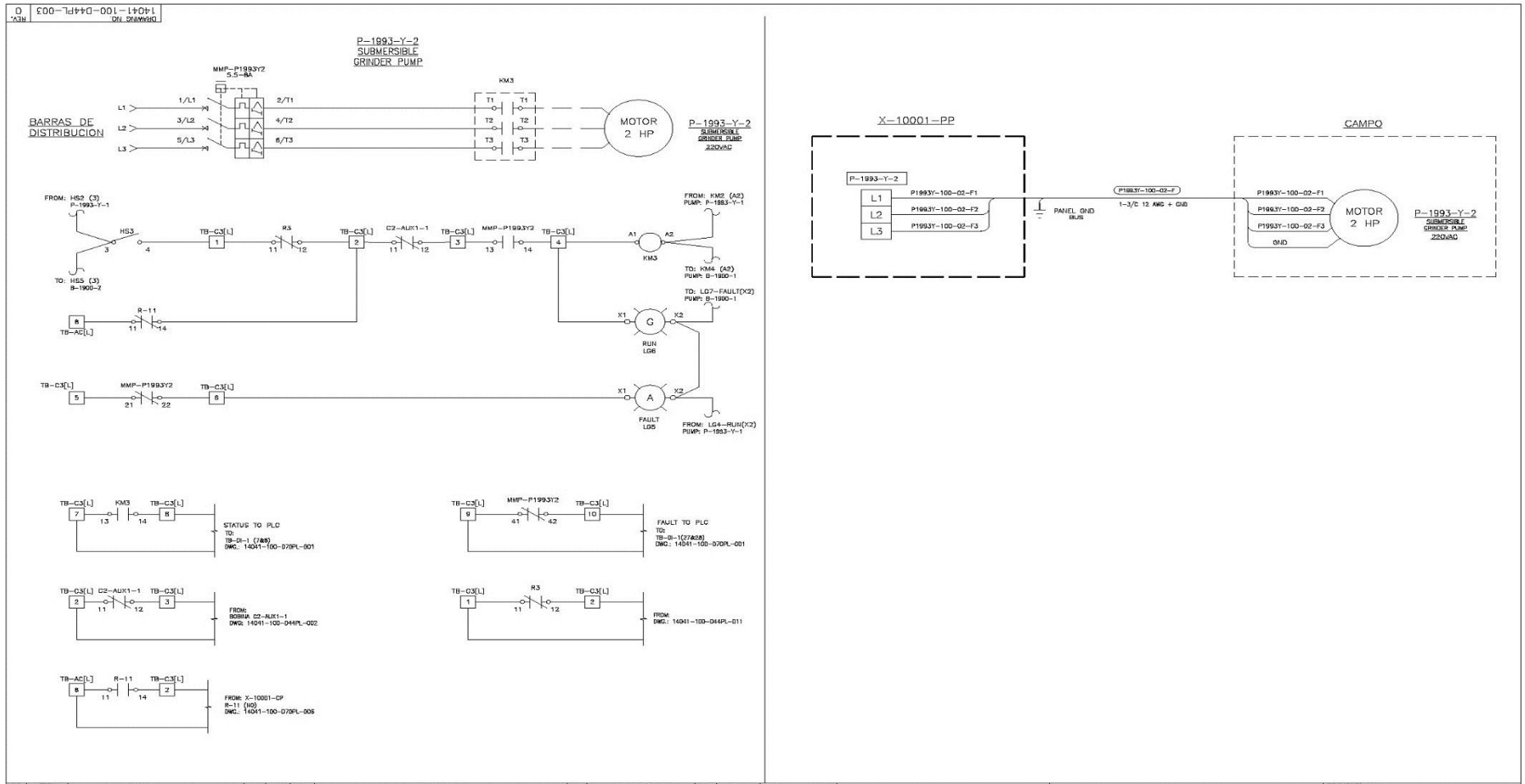

| NO. | FECHA | REVISIONES | POR | REV. | APROB | REFERENCIAS | NO. | REALIZADO PARA | POR | FECHA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 28/05/15 | PARA REVISION | FC/RCA | PC | – | 14041-100-070PL-001 DIAGRAMA DE CONEXIONADO PLC | A | PARA REVISION | FC/RCA | 28/05/15 |
| B | 17/06/15 | PARA REVISION | FC/RCA | PC | – | 14041-100-070PL-002 DIAGRAMA DE CONEXIONADO PLC | B | PARA REVISION | FC/RCA | 17/06/15 |
| C | 17/06/15 | PARA APROBACION | FC/RCA | PC | – | 14041-100-070PL-006 DIAGRAMA DE CONEXIONADO PLC | C | PARA APROBACION | FC/RCA | 17/06/15 |
| D | 10/07/15 | PARA CONSTRUCCION | FC/RCA | PC | – | 14041-100-044PL-003 DIAGRAMA DE CONEXIONES P-1993-Y-2 | D | PARA CONSTRUCCION | FC/RCA | 10/07/15 |
| 0 | 06/10/15 | AS BUILT | FC/RCA | PC | – | 14041-100-044PL-011 DIAGRAMA DE CONEXIONES RELES AUXILIARES | 0 | AS BUILT | FC/RCA | 06/10/15 |

| | | |
|---|---|---|
| DIBUJO | FC/RCA | FECHA 06/10/15 |
| REVISADO | PC | FECHA 06/10/15 |
| APROBADO | – | FECHA 06/10/15 |
| APROBADO | – | FECHA 06/10/15 |
| ESCALA | N/A (A3 SIZE) | |

# PLANTA DE TRATAMIENTO AGUAS RESIDUALES

## DIAGRAMA DE CONEXIONES P-1993-Y-1

| | | |
|---|---|---|
| PROYECTO No. | – | |
| ELABORADO | FREDDY CARDENAS / RAFAEL CATAGRA<br>Ing. de Proyectos | FECHA 06/10/15 |
| REVISADO | PATRICIO CHAVEZ<br>Jefe de Ingeniería | FECHA 06/10/15 |
| REVISADO | | FECHA 06/10/15 |
| DRAWING NO. | 14041-100-D44PL-002 | REV. 0 |




| NO. | FECHA | REVISIONES | POR | REV | APROB | REFERENCIAS | | NO. | REALIZADO PARA | POR | FECHA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 28/05/15 | PARA REVISION | FC/RCA | PC | – | 14041-100-D70PL-001 | DIAGRAMA DE CONEXIONADO PLC | A | PARA REVISION | FC/RCA | 28/05/15 |
| B | 17/06/15 | PARA REVISION | FC/RCA | PC | – | 14041-100-D70PL-002 | DIAGRAMA DE CONEXIONADO PLC | B | PARA REVISION | FC/RCA | 17/06/15 |
| C | 17/06/15 | PARA APROBACION | FC/RCA | PC | – | 14041-100-D44PL-002 | DIAGRAMA DE CONEXIONES P-1993-Y-1 | C | PARA APROBACION | FC/RCA | 17/06/15 |
| D | 10/07/15 | PARA CONSTRUCCION | FC/RCA | PC | – | 14041-100-D44PL-004 | DIAGRAMA DE CONEXIONES B-1900-1 | D | PARA CONSTRUCCION | FC/RCA | 10/07/15 |
| 0 | 06/10/15 | AS BUILT | FC/RCA | PC | – | 14041-100-D44PL-011 | DIAGRAMA DE CONEXIONES RELES AUXILIARES | 0 | AS BUILT | FC/RCA | 06/10/15 |

DIBUJO FECHA
FC/RCA 06/10/15
REVISADO FECHA
PC 06/10/15
APROBADO FECHA
06/10/15
APROBADO FECHA
– 06/10/15
ESCALA
N/A (A3 SIZE)

PLANTA DE TRATAMIENTO
AGUAS RESIDUALES

DIAGRAMA DE CONEXIONES
P-1993-Y-2

PROYECTO No.
–

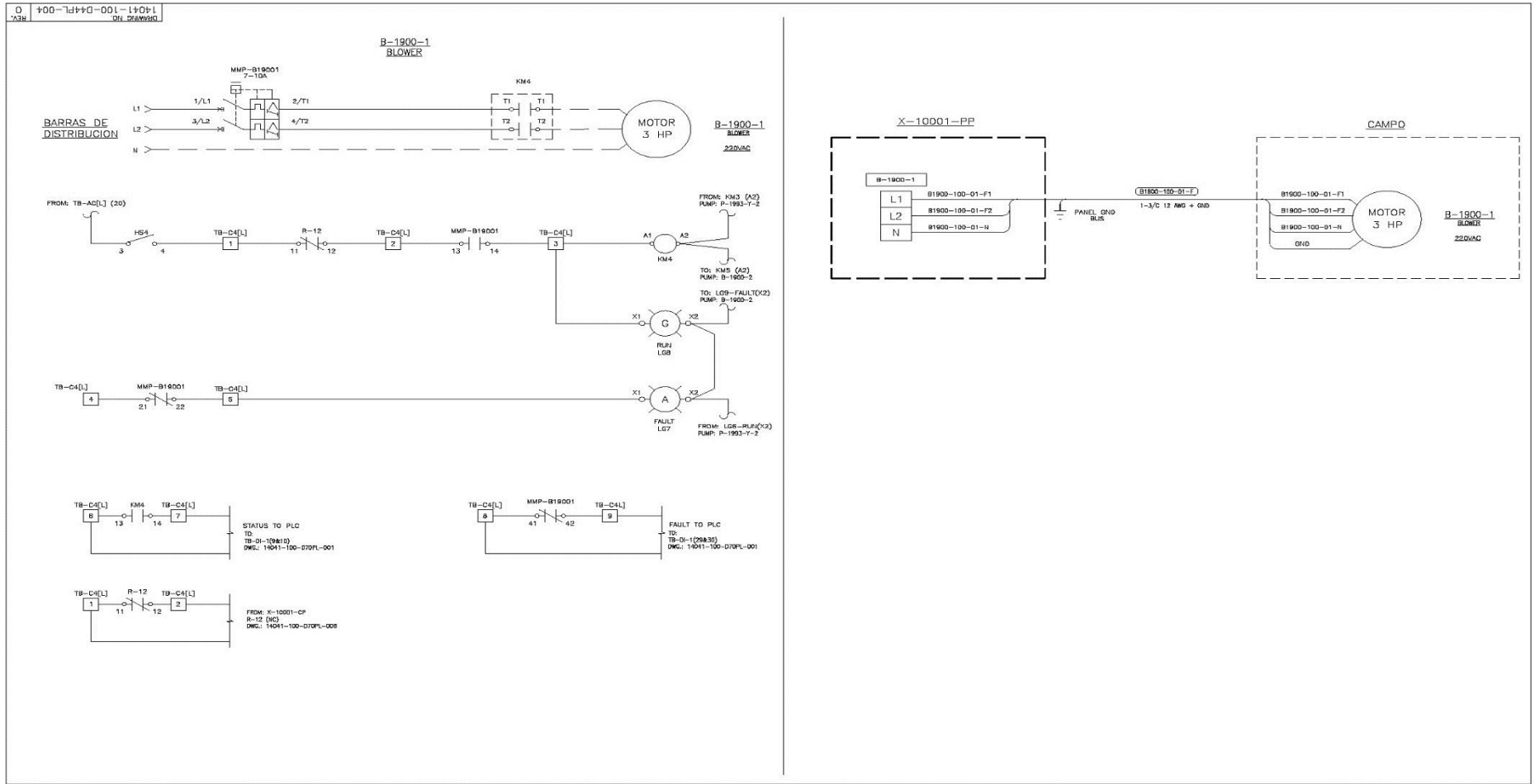
ELABORADO FECHA
FREDDY CARDENAS / RAFAEL CATAGÑA 06/10/15
Ing. de Proyectos

REVISADO FECHA
PATRICIO CHAVEZ 06/10/15
Jefe de Ingeniería

REVISADO FECHA
06/10/15

DRAWING NO. REV.
14041-100-D44PL-003 0

DRAWING NO. REV.
14041-100-D44PL-003 0




| NO. | FECHA | REVISIONES | POR | REV. | APROB | REFERENCIAS | | NO. | REALIZADO PARA | POR | FECHA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 28/05/15 | PARA REVISION | FC/ROA | PC | – | 14041-100-D70PL-001 | DIAGRAMA DE CONEXIONADO PLC | A | PARA REVISION | FC/ROA | 28/05/15 |
| B | 17/06/15 | PARA REVISION | FC/ROA | PC | – | 14041-100-D70PL-008 | DIAGRAMA DE CONEXIONADO PLC | B | PARA REVISION | FC/ROA | 17/06/15 |
| C | 17/06/15 | PARA APROBACION | FC/ROA | PC | – | 14041-100-D44PL-003 | DIAGRAMA DE CONEXIONES P-1993-Y-2 | C | PARA APROBACION | FC/ROA | 17/06/15 |
| D | 10/07/15 | PARA CONSTRUCCION | FC/ROA | PC | – | 14041-100-D44PL-005 | DIAGRAMA DE CONEXIONES B-1900-2 | D | PARA CONSTRUCCION | FC/ROA | 10/07/15 |
| 0 | 06/10/15 | AS BUILT | FC/ROA | PC | – | | | 0 | AS BUILT | FC/ROA | 06/10/15 |

DIBUJO FECHA
FC/ROA 06/10/15
REVISADO FECHA
PC 06/10/15
APROBADO FECHA
– 06/10/15
APROBADO FECHA
– 06/10/15
ESCALA
N/A (A3 SIZE)

PLANTA DE TRATAMIENTO
AGUAS RESIDUALES

DIAGRAMA DE CONEXIONES
B-1900-1

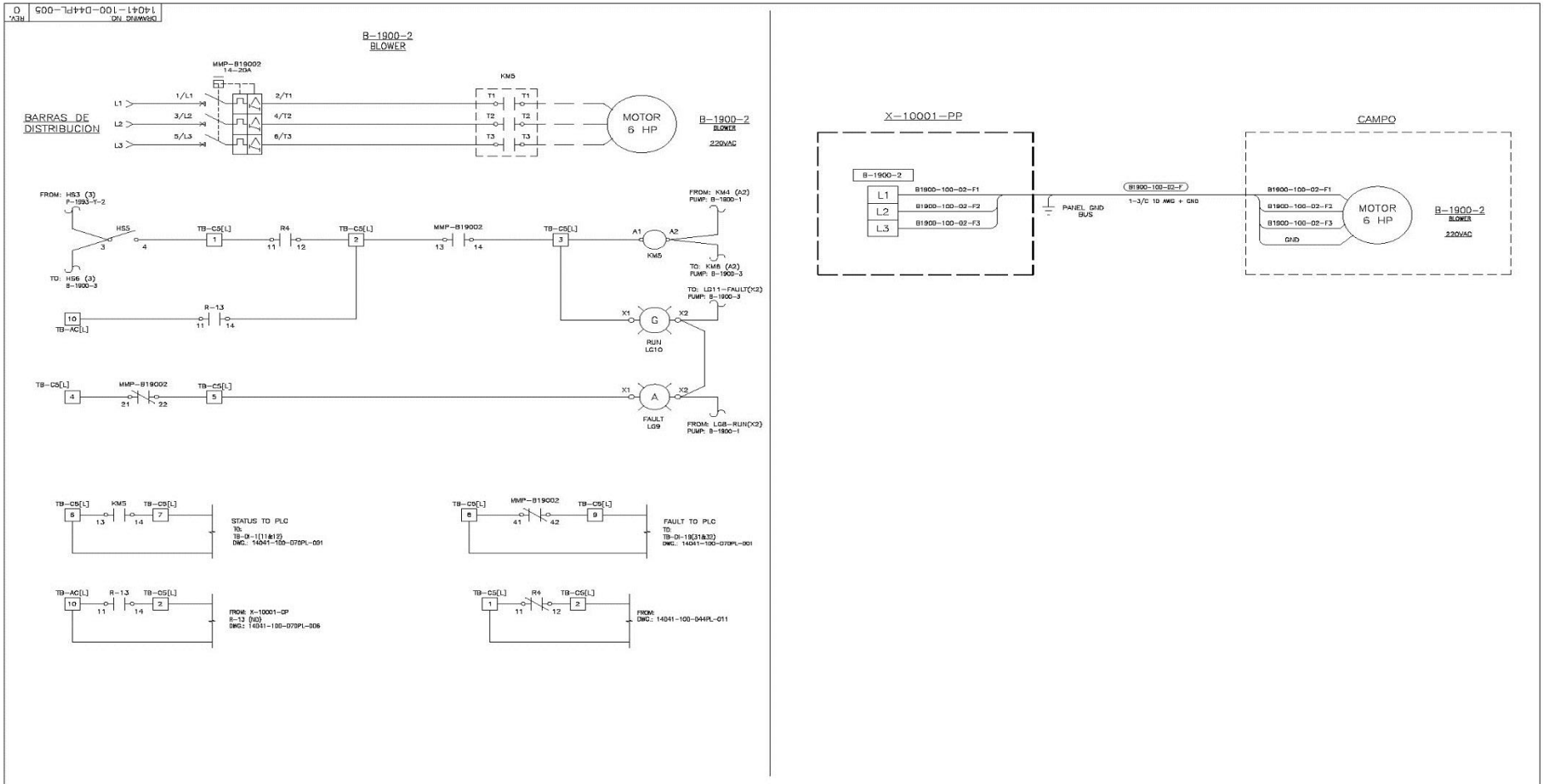
PROYECTO No.
–

ELABORADO FECHA
FREDDY CARDENAS / RAFAEL CATAÑA 06/10/15
Ing. de Proyectos

REVISADO FECHA
PATRICIO CHAVEZ 06/10/15
Jefe de Ingeniería

REVISADO FECHA
– 06/10/15

DRAWING NO. REV.
14041-100-D44PL-004 0



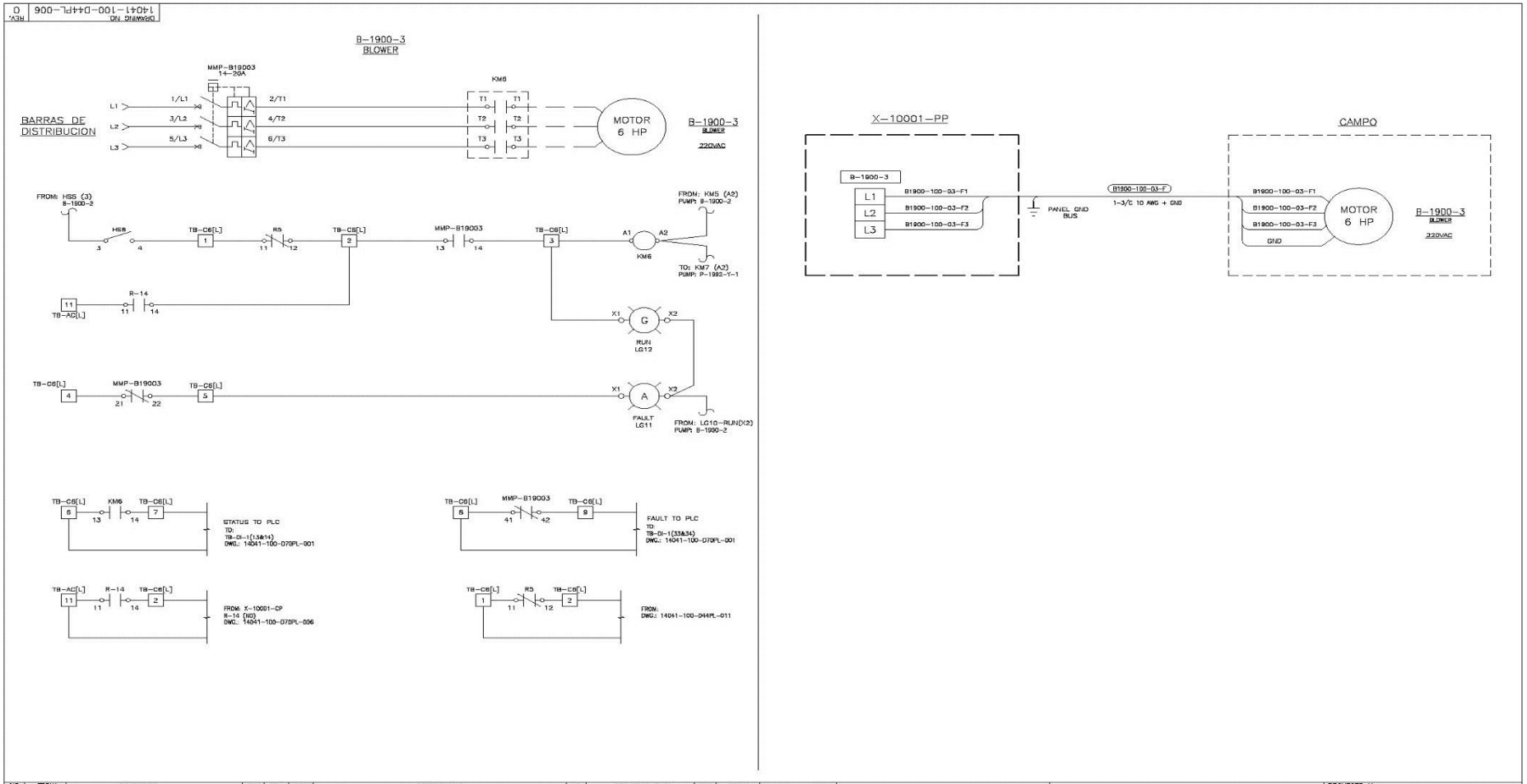

| NO. | FECHA | REVISIONES | POR | REV. | APROB | REFERENCIAS | NO. | REALIZADO PARA | POR | FECHA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 28/05/15 | PARA REVISION | FC/RCA | PC | – | 14041-100-070PL-001 DIAGRAMA DE CONEXIONADO PLC | A | PARA REVISION | FC/RCA | 28/05/15 |
| B | 17/06/15 | PARA REVISION | FC/RCA | PC | – | 14041-100-070PL-006 DIAGRAMA DE CONEXIONADO PLC | B | PARA REVISION | FC/RCA | 17/06/15 |
| C | 17/06/15 | PARA APROBACION | FC/RCA | PC | – | 14041-100-044PL-004 DIAGRAMA DE CONEXIONES B-1900-1 | C | PARA APROBACION | FC/RCA | 17/06/15 |
| D | 10/07/15 | PARA CONSTRUCCION | FC/RCA | PC | – | 14041-100-044PL-006 DIAGRAMA DE CONEXIONES B-1900-3 | D | PARA CONSTRUCCION | FC/RCA | 10/07/15 |
| 0 | 06/10/15 | AS BUILT | FC/RCA | PC | – | 14041-100-044PL-011 DIAGRAMA DE CONEXIONES RELES AUXILIARES | 0 | AS BUILT | FC/RCA | 06/10/15 |

DIBUJO FECHA FC/RCA 06/10/15
REVISADO FECHA PC 06/10/15
APROBADO FECHA – 06/10/15
APROBADO FECHA – 06/10/15
ESCALA N/A (A3 SIZE)

PLANTA DE TRATAMIENTO AGUAS RESIDUALES

DIAGRAMA DE CONEXIONES B-1900-2

PROYECTO No. –
ELABORADO FECHA
FREDDY CARDENAS / RAFAEL CATAGRA 06/10/15
Ing. de Proyectos
REVISADO FECHA
PATRICIO CHAVEZ 06/10/15
Jefe de Ingeniería
REVISADO FECHA
– 06/10/15
DRAWING NO. 14041-100-D44PL-005 REV. 0




| NO. | FECHA | REVISIONES | POR | REV. | APROB | REFERENCIAS | | NO. | REALIZADO PARA | POR | FECHA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 28/05/15 | PARA REVISION | FC/RCA | PC | – | 14041-100-D70PL-001 | DIAGRAMA DE CONEXIONADO PLC | A | PARA REVISION | FC/RCA | 28/05/15 |
| B | 17/06/15 | PARA REVISION | FC/RCA | PC | – | 14041-100-D70PL-006 | DIAGRAMA DE CONEXIONADO PLC | B | PARA REVISION | FC/RCA | 17/06/15 |
| C | 17/06/15 | PARA APROBACION | FC/RCA | PC | – | 14041-100-D44PL-004 | DIAGRAMA DE CONEXIONES B-1900-2 | C | PARA APROBACION | FC/RCA | 17/06/15 |
| D | 10/07/15 | PARA CONSTRUCCION | FC/RCA | PC | – | 14041-100-D44PL-011 | DIAGRAMA DE CONEXIONES RELES AUXILIARES | D | PARA CONSTRUCCION | FC/RCA | 10/07/15 |
| 0 | 06/10/15 | AS BUILT | FC/RCA | PC | – | | | 0 | AS BUILT | FC/RCA | 06/10/15 |

DIBUJO FECHA
FC/RCA 06/10/15
REVISADO FECHA
PC 06/10/15
APROBADO FECHA
– 06/10/15
APROBADO FECHA
– 06/10/15
ESCALA
N/A (A3 SIZE)

# PLANTA DE TRATAMIENTO AGUAS RESIDUALES

## DIAGRAMA DE CONEXIONES B-1900-3

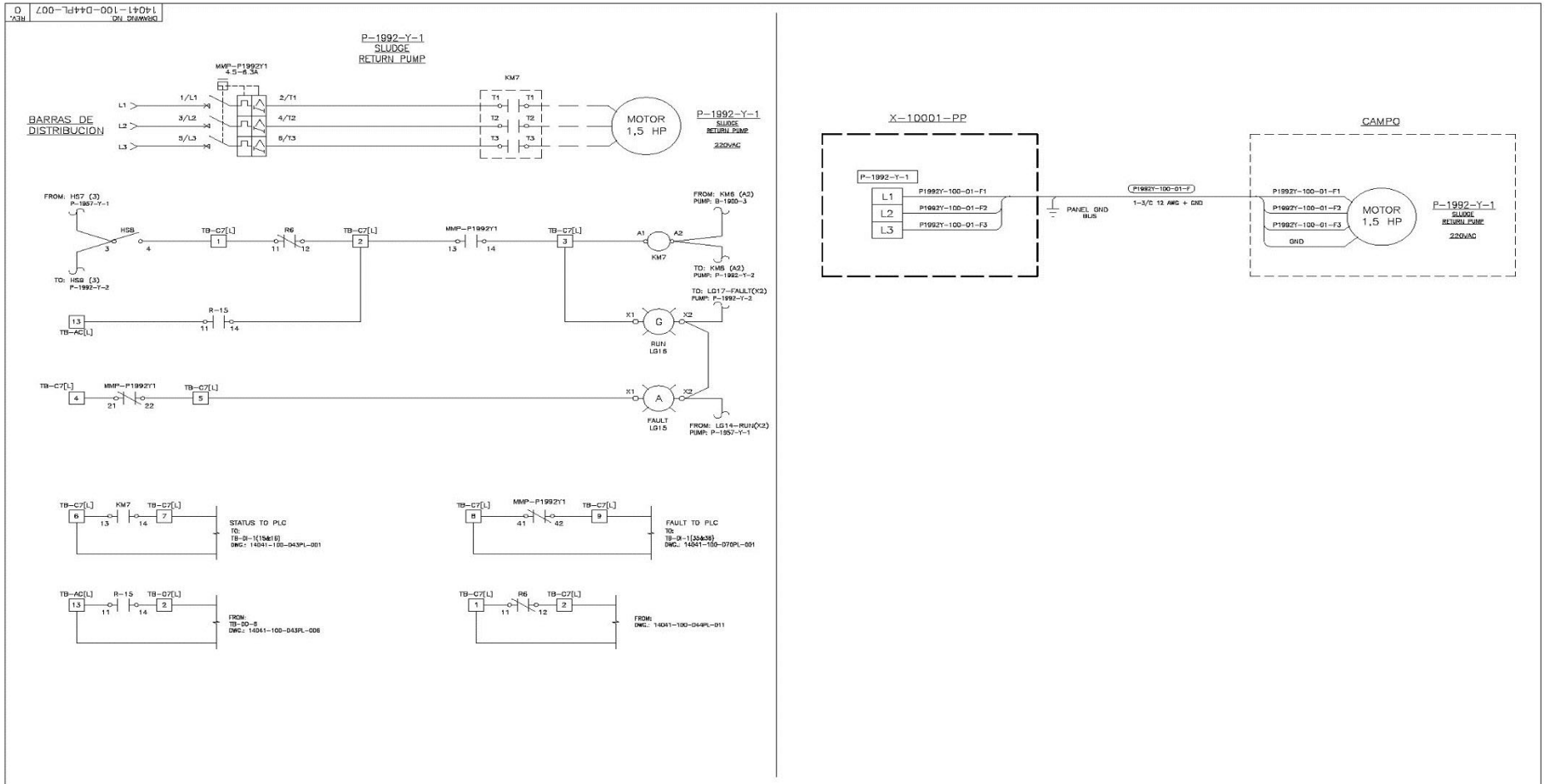
PROYECTO No.
–

ELABORADO FECHA
FREDDY CARDENAS / RAFAEL CATAGRÍA 06/10/15
Ing. de Proyectos

REVISADO FECHA
PATRICIO CHAVEZ 06/10/15
Jefe de Ingeniería

REVISADO FECHA
– 06/10/15

DRAWING NO. REV.
14041-100-D44PL-006 0




| NO. | FECHA | REVISIONES | POR | REV | APROB | REFERENCIAS | | NO. | REALIZADO PARA | POR | FECHA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 28/05/15 | PARA REVISION | FC/RCA | PC | – | 14041-100-070PL-001 | DIAGRAMA DE CONEXIONADO PLC | A | PARA REVISION | FC/RCA | 28/05/15 |
| B | 17/06/15 | PARA REVISION | FC/RCA | PC | – | 14041-100-070PL-006 | DIAGRAMA DE CONEXIONADO PLC | B | PARA REVISION | FC/RCA | 17/06/15 |
| C | 17/06/15 | PARA APROBACION | FC/RCA | PC | – | 14041-100-044PL-001 | DIAGRAMA DE CONEXIONES P-1957-Y-1 | C | PARA APROBACION | FC/RCA | 17/06/15 |
| D | 10/07/15 | PARA CONSTRUCCION | FC/RCA | PC | – | 14041-100-044PL-006 | DIAGRAMA DE CONEXIONES P-1992-Y-2 | D | PARA CONSTRUCCION | FC/RCA | 10/07/15 |
| 0 | 06/10/15 | AS BUILT | FC/RCA | PC | – | 14041-100-044PL-011 | DIAGRAMA DE CONEXIONES RELES AUXILIARES | 0 | AS BUILT | FC/RCA | 06/10/15 |

DIBUJO FECHA
FC/RCA 06/10/15
REVISADO FECHA
PC 06/10/15
APROBADO FECHA
– 06/10/15
APROBADO FECHA
– 06/10/15
ESCALA
N/A (A3 SIZE)

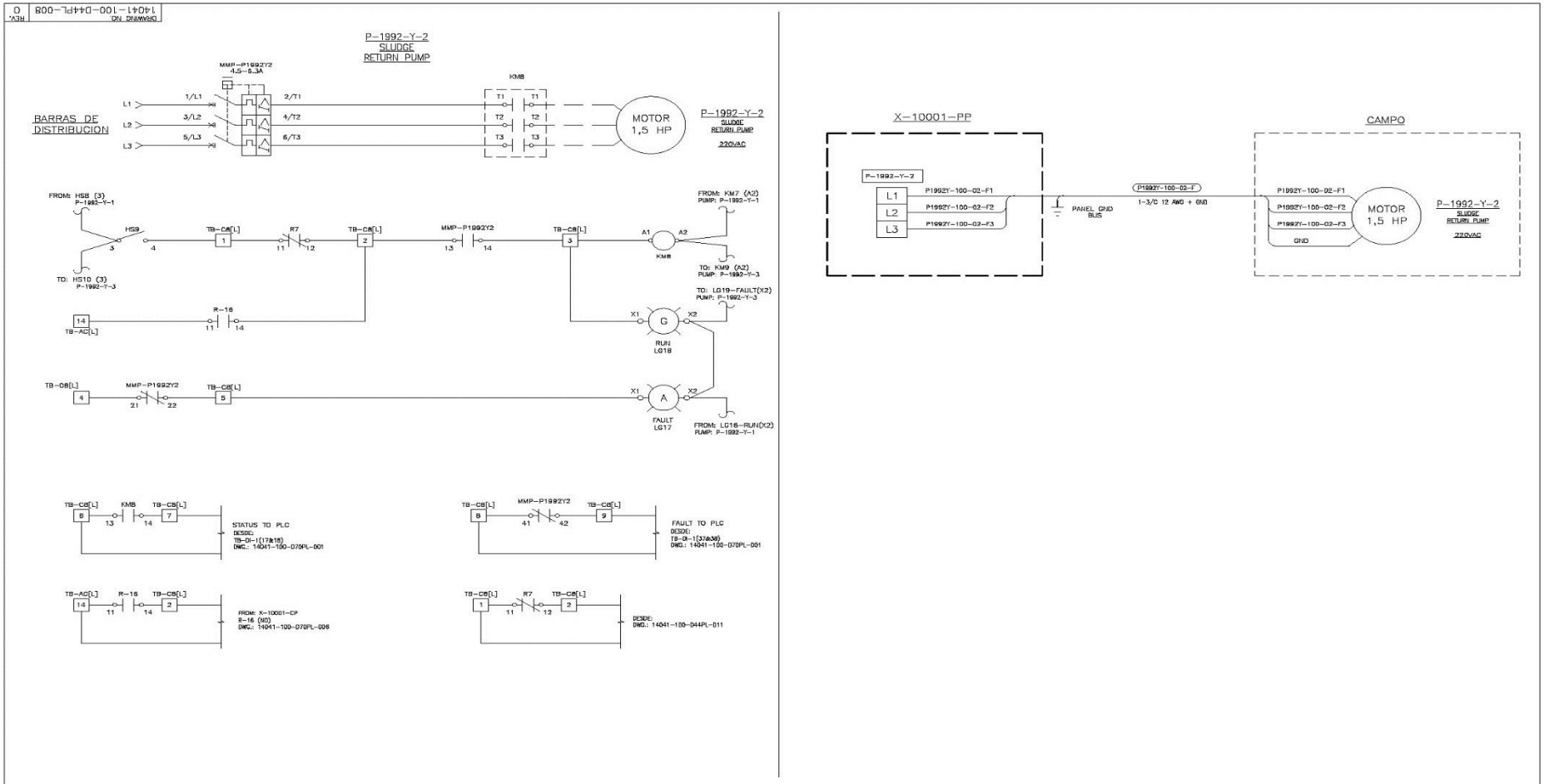
PLANTA DE TRATAMIENTO
AGUAS RESIDUALES

DIAGRAMA DE CONEXIONES
P-1992-Y-1

PROYECTO No.
–

ELABORADO FECHA
FREDDY CARDENAS / RAFAEL CATAGÑA 06/10/15
Ing. de Proyectos
REVISADO FECHA
PATRICIO CHAVEZ 06/10/15
Jefe de Ingeniería
REVISADO FECHA
– 06/10/15

DRAWING NO. 14041-100-D44PL-007 REV. 0



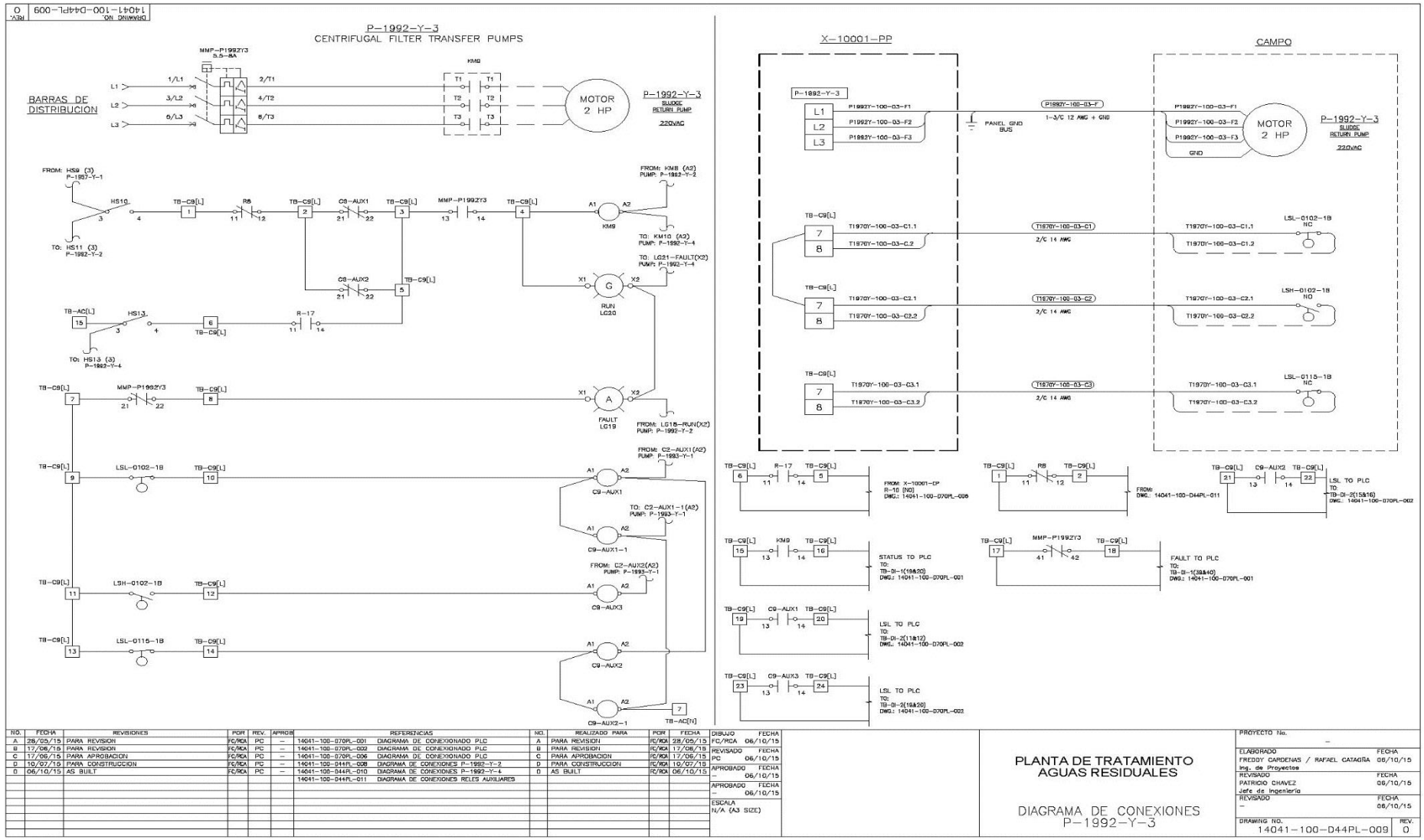

| NO. | FECHA | REVISIONES | POR | REV. | APROB. | REFERENCIAS | | NO. | REALIZADO PARA | POR | FECHA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 28/05/15 | PARA REVISION | FC/RCA | PC | – | 14041-100-D70PL-001 | DIAGRAMA DE CONEXIONADO PLC | A | PARA REVISION | FC/RCA | 28/05/15 |
| B | 17/06/15 | PARA REVISION | FC/RCA | PC | – | 14041-100-D70PL-006 | DIAGRAMA DE CONEXIONADO PLC | B | PARA REVISION | FC/RCA | 17/06/15 |
| C | 17/06/15 | PARA APROBACION | FC/RCA | PC | – | 14041-100-D44PL-007 | DIAGRAMA DE CONEXIONES P-1992-Y-1 | C | PARA APROBACION | FC/RCA | 17/06/15 |
| D | 10/07/15 | PARA CONSTRUCCION | FC/RCA | PC | – | 14041-100-D44PL-009 | DIAGRAMA DE CONEXIONES P-1992-Y-3 | D | PARA CONSTRUCCION | FC/RCA | 10/07/15 |
| 0 | 06/10/15 | AS BUILT | FC/RCA | PC | – | 14041-100-D44PL-011 | DIAGRAMA DE CONEXIONES RELES AUXILIARES | 0 | AS BUILT | FC/RCA | 06/10/15 |

DIBUJO FECHA FC/RCA 06/10/15
REVISADO FECHA PC 06/10/15
APROBADO FECHA – 06/10/15
APROBADO FECHA – 06/10/15
ESCALA N/A (A3 SIZE)

PLANTA DE TRATAMIENTO
AGUAS RESIDUALES

DIAGRAMA DE CONEXIONES
P-1992-Y-2

PROYECTO No. –
ELABORADO FECHA
FREDDY CARDENAS / RAFAEL CATAGÑA 06/10/15
Ing. de Proyectos
REVISADO FECHA
PATRICIO CHAVEZ 06/10/15
Jefe de Ingeniería
REVISADO FECHA
– 06/10/15
DRAWING NO. 14041-100-D44PL-008 REV. 0




| NO. | FECHA | REVISIONES | PDR | REV. | APROB | REFERENCIAS | | NO. | REALIZADO PARA | PDR | FECHA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 28/05/15 | PARA REVISION | FC/RCA | PC | – | 14041-100-070PL-001 | DIAGRAMA DE CONEXIONADO PLC | A | PARA REVISION | FC/RCA | 28/05/15 |
| B | 17/06/15 | PARA REVISION | FC/RCA | PC | – | 14041-100-070PL-002 | DIAGRAMA DE CONEXIONADO PLC | B | PARA REVISION | FC/RCA | 17/06/15 |
| C | 17/06/15 | PARA APROBACION | FC/RCA | PC | – | 14041-100-070PL-006 | DIAGRAMA DE CONEXIONADO PLC | C | PARA APROBACION | FC/RCA | 17/06/15 |
| D | 10/07/15 | PARA CONSTRUCCION | FC/RCA | PC | – | 14041-100-044PL-008 | DIAGRAMA DE CONEXIONES P-1992-Y-2 | D | PARA CONSTRUCCION | FC/RCA | 10/07/15 |
| 0 | 06/10/15 | AS BUILT | FC/RCA | PC | – | 14041-100-044PL-010 | DIAGRAMA DE CONEXIONES P-1992-Y-4 | 0 | AS BUILT | FC/RCA | 06/10/15 |
| | | | | | | 14041-100-044PL-011 | DIAGRAMA DE CONEXIONES RELES AUXILIARES | | | | |

DIBUJO FECHA FC/RCA 06/10/15
REVISADO FECHA PC 06/10/15
APROBADO FECHA – 06/10/15
APROBADO FECHA – 06/10/15
ESCALA N/A (A3 SIZE)

PLANTA DE TRATAMIENTO AGUAS RESIDUALES

DIAGRAMA DE CONEXIONES P-1992-Y-3

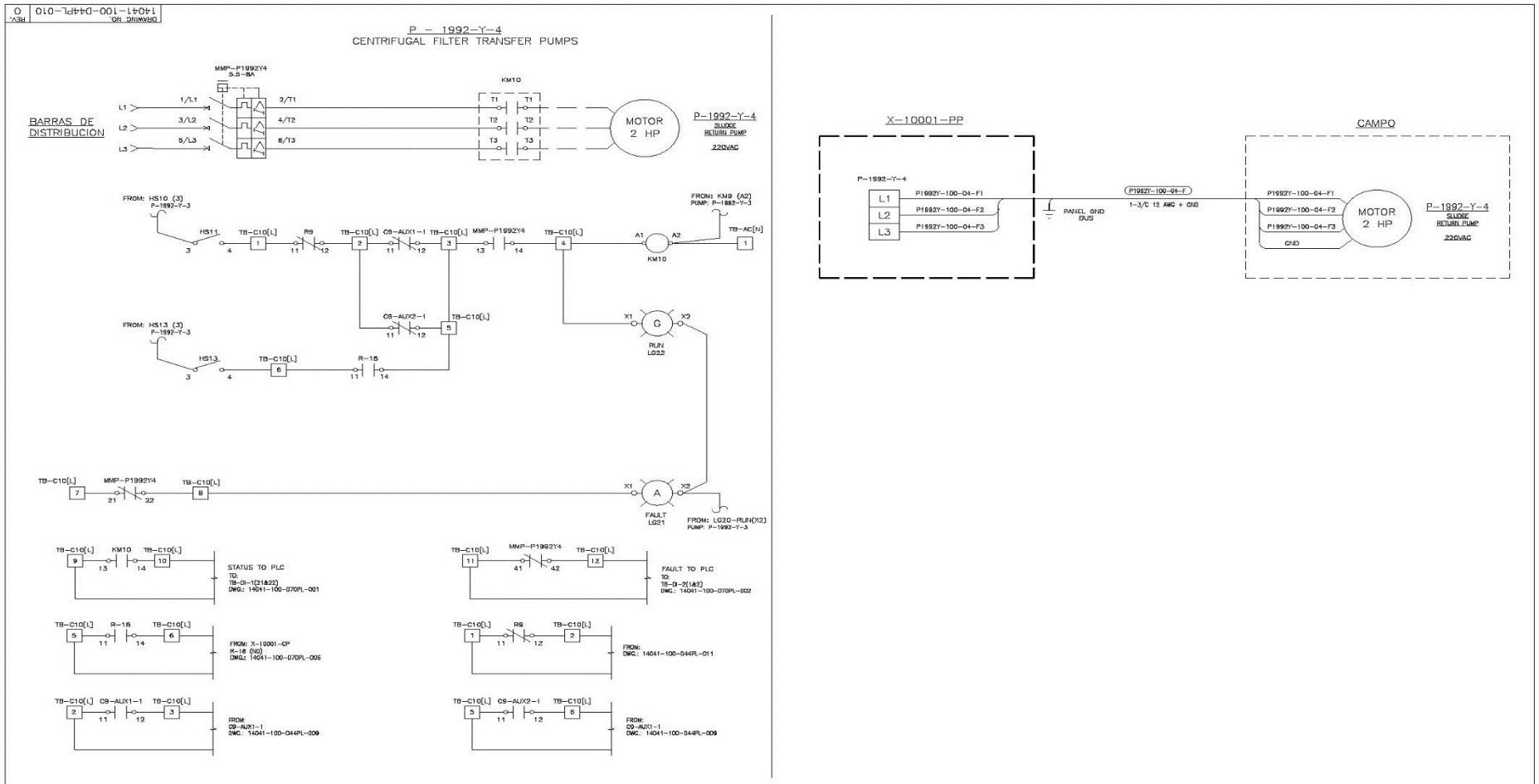
PROYECTO No. –

ELABORADO FECHA
FREDDY CARDENAS / RAFAEL CATAGÑA 06/10/15
Ing. de Proyectos

REVISADO FECHA
PATRICIO CHAVEZ 06/10/15
Jefe de Ingeniería

REVISADO FECHA
– 06/10/15

DRAWING NO. 14041-100-D44PL-009 REV. 0




| NO. | FECHA | REVISIONES | POR | REV. | APROB | REFERENCIAS | NO. | REALIZADO PARA | POR | FECHA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 28/05/15 | PARA REVISION | FC/RCA | PC | – | 14041–100–070PL–001 DIAGRAMA DE CONEXIONADO PLC | A | PARA REVISION | FC/RCA | 28/05/15 |
| B | 17/06/15 | PARA REVISION | FC/RCA | PC | – | 14041–100–070PL–002 DIAGRAMA DE CONEXIONADO PLC | B | PARA REVISION | FC/RCA | 17/06/15 |
| C | 17/06/15 | PARA APROBACION | FC/RCA | PC | – | 14041–100–070PL–006 DIAGRAMA DE CONEXIONADO PLC | C | PARA APROBACION | FC/RCA | 17/06/15 |
| D | 10/07/15 | PARA CONSTRUCCION | FC/RCA | PC | – | 14041–100–044PL–009 DIAGRAMA DE CONEXIONES P–1992–Y–3 | D | PARA CONSTRUCCION | FC/RCA | 10/07/15 |
| 0 | 06/10/15 | AS BUILT | FC/RCA | PC | – | 14041–100–044PL–011 DIAGRAMA DE CONEXIONES RELES AUXILIARES | 0 | AS BUILT | FC/RCA | 06/10/15 |

DIBUJO FECHA FC/RCA 06/10/15
REVISADO FECHA PC 06/10/15
APROBADO FECHA – 06/10/15
APROBADO FECHA – 06/10/15
ESCALA N/A (A3 SIZE)

# PLANTA DE TRATAMIENTO AGUAS RESIDUALES

DIAGRAMA DE CONEXIONES P–1992–Y–4

PROYECTO No. –
ELABORADO FECHA FREDDY CARDENAS / RAFAEL CATAGRA Ing. de Proyectos 06/10/15
REVISADO FECHA PATRICIO CHAVEZ Jefe de Ingeniería 06/10/15
REVISADO FECHA – 06/10/15
DRAWING NO. 14041–100–D44PL–010 REV. 0

Anexo 6. Hoja de datos y pruebas de transformador seco

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| RVR TRANSFORMADORES CIA. LTDA. | Título: | DATASHEET | | |
| | Código: | RVR-GV-PR-01-F-02 | Revisión | 01 |
| | Aprobado: | | Página: | *1 de 3* |

| Datos Generales | | |
|---|---|---|
| 1. | Proveedor / Fabricante | R.V.R. Transformadores |
| 2. | País de fabricación | Ecuador |
| 3. | Normas aplicables | IEEE C57.12.01<br>NTC 3445 |
| 4. | Número de proforma/Orden de trabajo | 15072266-015 30kVA |
| 5. | Documento de referencia | Solicitado por el cliente. AWTSA |

**Información técnica general**

| ITEM | CONCEPTO | UNIDAD | ESPECIFICACIÓN |
|---|---|---|---|
| 6. | **GENERALIDADES** | Transformador trifásico tipo seco | |
| **CARACTERÍSTICAS DE DESEMPEÑO** | | | |
| 7. | Potencia nominal | kVA | 30 |
| 8. | Número de Fases | # | 3 |
| 9. | Capacidad de soportar armónicos | Factor k | Std. |
| 10. | Clase térmica de aislamientos | | H |
| 11. | Material de los bobinados (AT/BT) | | Cu/Cu |
| 12. | Frecuencia | Hz | 60 |
| 13. | Altitud de diseño | msnm | 1000 |
| 14. | Tipo de servicio | | Continuo |
| 15. | Lugar de instalación | | Exterior |
| 16. | Nivel de ruido audible | Db | <55 |
| 17. | **Tensión nominal de línea** | | |
| 17.1 | Bobinado primario | V. | 480 |
| 17.2 | Bobinado secundario | V. | 208/120 |
| 17.3 | Bobinado terciario | V. | N/A |
| 18. | **Regulación Fuera de Tensión nominal** | | |
| 18.1 | Puntos de regulación de derivaciones | # | 5 |
| 18.2 | Posiciones del cambiador de derivaciones | # | 460-470-480-490-500 |
| 18.3 | Tipo de Cambiador de derivaciones | | Bornera |
| 19. | **Conexión** | | |
| 19.1 | Primario | | Delta |
| 19.2 | Secundario | | Estrella |
| 19.3 | Grupo de Conexión | | Dyn5 |
| 20. | **Sistema de aislamiento** | | |
| 20.1 | Tensión de serie primario | kV | 1.1 |
| 20.2 | Nivel de aislamiento (B.I.L.) primario | kV | 10 |
| 20.3 | Tensión de serie secundario) | kV | 1.1 |
| 20.4 | Nivel de aislamiento (B.I.L.) Secundario | kV | 10 |
| | | | |
| 21. | **Pérdidas y rendimiento** | | |
| 21.1 | Pérdidas en vacío | W | 106,5 |
| 21.2 | Pérdidas totales @ 145ºC | W | 890 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 21.3 | Impedancia de cortocircuito @ 145ºC | % | 3,1 |
| 21.4 | Corriente de excitación al 100% del voltaje nominal | %In | 3,7 |
| 21.5 | Tipo de núcleo | | Apilado |
| 21.6 | Rendimiento al 100% factor de potencia 1 | % | 96,4 |
| **Información acerca del sistema de refrigeración** | | | |
| **22.** | **Temperaturas máximas admisibles** | | |
| 22.1 | Temperatura de operación | ºC | 150 |
| 22.2 | Temperatura de sobre elevación | ºC | 40 |
| **23.** | Tipo (ANAN/ANAF/ETC) | | ANAN |

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Características de entradas en el primario** | | | |
| **24.** | Tipo de terminal | | Pletina |
| **25.** | Calibre máximo del cable de conexión | AWG | N/A |
| **26.** | Cantidad de entradas | Und. | 1 |
| **27.** | Ubicación de ingreso (según segmento IEEE C57.12.00) | | Segmento 1 |
| **Características de salidas en el secundario** | | | |
| **28.** | Tipo de terminal | | Pletina |
| **29.** | Calibre máximo del cable de conexión | | N/A |
| **30.** | Cantidad de salidas | Und | 3 |
| **31.** | Ubicación ingreso de cables (según segmento IEEE C57.12.00) | | Segmento 1 |
| **Características del recubrimiento** | | | |
| **32.** | Marca del sistema de recubrimiento | | |
| **33.** | Color | Código RAL | 7030 Gris |
| **34.** | Espesor del recubrimiento | | |
| 34.1 | Fondo epóxico (protección corrosión) | µm | 50-100 |
| 34.2 | Pintura alquídica (Acabado) | µm | 50-75 |
| **Características Mecánicas** | | | |
| **35.** | Espesor de Lámina de caja | mm | 1.6 |
| **36.** | Espesor de Lámina Gabinete de conexiones | mm | N/A |
| **37.** | Tipo de base del tanque | | Perfil U |
| **38.** | Puntos de fijación para base | # | 4 |
| **39.** | Tipo de seguridad de puertas de gabinetes de conexión/ Carcasa | | Perno |
| **40.** | Grado de protección de la caja | Nema/IP | NEMA 3R |
| **Accesorios** | | | |
| **41.** | Terminal de derivación a Tierra del Tanque | Si | |
| **42.** | Pletina de derivación a Tierra | No | |
| **43.** | Ruedas de desplazamiento | Si | |

| **Instrumentos de Seguimiento** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| *Ponga un check en el tipo de instrumento.* | | Con contactos | | Sin Contactos |
| **44.** | Termómetro | No | | No |
| **45.** | Caja de conexiones para instrumentos con contactos (responda si/no). | No | | |
| **Protecciones** | | | | |
| **46.** | Fusibles Limitadores | No | | |
| **47.** | Disyuntor Termo magnético | No | | |
| **Características Físicas** | | | | |
| **48.** | Masa total | kg | | 140 |
| **49.** | Dimensiones externas | Frente | mm | 550 |
| **50.** | | Profundidad | mm | 300 |
| **51.** | | Altura | mm | 600 |
| **Observaciones: N/A** | | | | |

RVR TRANSFORMADORES

# PROTOCOLO DE PRUEBAS TRANSFORMADORES

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| AUTOTRANSFORMADOR | | EN ACEITE | | TRIFASICO | X |
| TRANSFORMADOR | X | SECO | X | MONOFASICO | |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Cliente | AWTSA | O.T. | 2266-1-015 | Serie No. | 15072266-1 |
| Marcas | RVR Transformadores | Potencia Nominal | 30 kVA | Frecuencia | 60 Hz |
| Normas | Ansi C-57-96 | Tipo | Distribución | Clase de Refrigeración | Aire |
| Clase de Aislamiento: | H | Grupo de conexión | Dyn5 | Elev. Temp. 125 °C | Altitud 1.000 m |

| | Tensión Nominal | Intensidades | Tensión de Serie | Tensión de Prueba | BIL |
|---|---|---|---|---|---|
| Secundario | 208 V | 83,27 A | 1,20 kV | 3 kV | 10 kV |
| Primario | 480 V | 36,08 A | 1,20 kV | 3 kV | 10 kV |
| Datos medidos a: | 20 °C | W Fe 107 W | W Cu 600 W | Io 3,6 % de In | Uz 2,55 % |
| Datos calculados a: | 125 °C | W Fe 107 W | W Cu 824 W | Io 3,6 % de In | Uz 3,15 % |

**1. RELACION DE TRANSFORMACION** — Grupo de Conexión: Dyn5 — Polaridad

| | TAP | VOLTAJE | Fase H1 | Fase H2 | Fase H3 | TAP |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 500 | 4,162 | 4,162 | 4,161 | 1 |
| | 2 | 490 | 4,060 | 4,060 | 4,060 | 2 |
| | 3 | 480 | 3,958 | 3,958 | 3,958 | 3 |
| | 4 | 470 | 3,856 | 3,856 | 3,856 | 4 |
| | 5 | 460 | 3,754 | 3,754 | 3,754 | 5 |

| RESISTENCIA DE AISLAMIENTO Con MEGGER de 1000 V. | AT Contra BT | AT Contra T | BT Contra T |
|---|---|---|---|
| | 1.560.000 MΩ | 1.450.000 MΩ | 856.900 MΩ |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 3. TENSION APLICADA | | 4. TENSION INDUCIDA | | | | |
| AT Contra BT y T | 3 kV a 60 seg | Tensión | $X_1$ 416 V | $X_2$ 416 V | $X_3$ 416 V | |
| BT Contra AT y T | 3 kV a 60 seg | Frecuencia | 400 Hz | 16 seg | | |

| 5. PRUEBAS EN VACIO (Pérdidas en Fe) | Tensión | $IX_1$ | $IX_2$ | IX3 | Io de In | W Fe |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 208 V | 1,6 A | 0,8 A | 1,6 | 3,62 % | 107 W |
| | Watímetro (s) | | | Constante (s) | | |

| 6. PRUEBAS DE CORTO CIRCUITO (Pérdidas en Cu) a: 20 °C | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | I de AT | 83,27 A | Vcc | 5 V | $IX_1$ | 83 A | $IH_1$ | 36 A |
| | I de BT | 36,08 A | Uz | °C 2,55 % | $IX_2$ | 83 A | $IH_2$ | 36 A |
| | Posición Conmutador | 3 | W Cu | °C 600 W | $IX_3$ | 83 A | $IH_3$ | 36 A |
| | Watímetro (s) | | Constante (s) | 1 | | | | |

| 7. RESISTENCIA MEDIDA ENTRE BORNES A TEMPERATURA AMBIENTE 20 °C | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | AT | $H_1$-$H_2$ | 0,0262 Ω | $H_2$-$H_3$ | 0,0264 Ω | $H_3$-$H_1$ | 0,0264 Ω | |
| | BT | $X_1$-$X_2$ | 0,1400 Ω | $X_2$-$X_3$ | 0,0140 Ω | $X_3$-$X_1$ | 0,01400 Ω | |

| 8. DATOS CALCULADOS A: 20 °C / DATOS CALCULADOS A: 125 °C | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $I^2R$ | 546 W | Ur | 1,82 % | Ux | 1,8 % | Wa | 54 W |
| | $I^2R$ | 781 W | Ur | 2,60 % | Ux | 1,8 % | Wa | 43 W |
| | Pérdidas totales calculados a | | | 125 °C | | W Cu | 824 | W |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Realizado por: Ing.Rafael Vásquez | Fecha: 2015-08-10 | Directorio: RVR Transformadores | VoBo |
| | Informe No. 2266-1-015 | Archivo: | |
| | No. de diseño | K01-A-TSC-0030.0-T-09-02-002.1 | |

R.V.R. TRANSFORMADORES Cía Ltda — FIRMA AUTORIZADA

TÍTULO: PROTOCOLO DE PRUEBAS REDUCTOR; CÓDIGO: RVR-ID-PR-01-F-07; REVISIÓN: 01; APROBADO: 2014-03-07; PÁGINA 1

Panamericana norte Km 6½ Calle 3ª Este # 72992
Telfs.: (02) 2482- 255 / 2800-939
Email: info@rvrtransformadores.com
www.rvrtransformadores.com
Quito - Ecuador

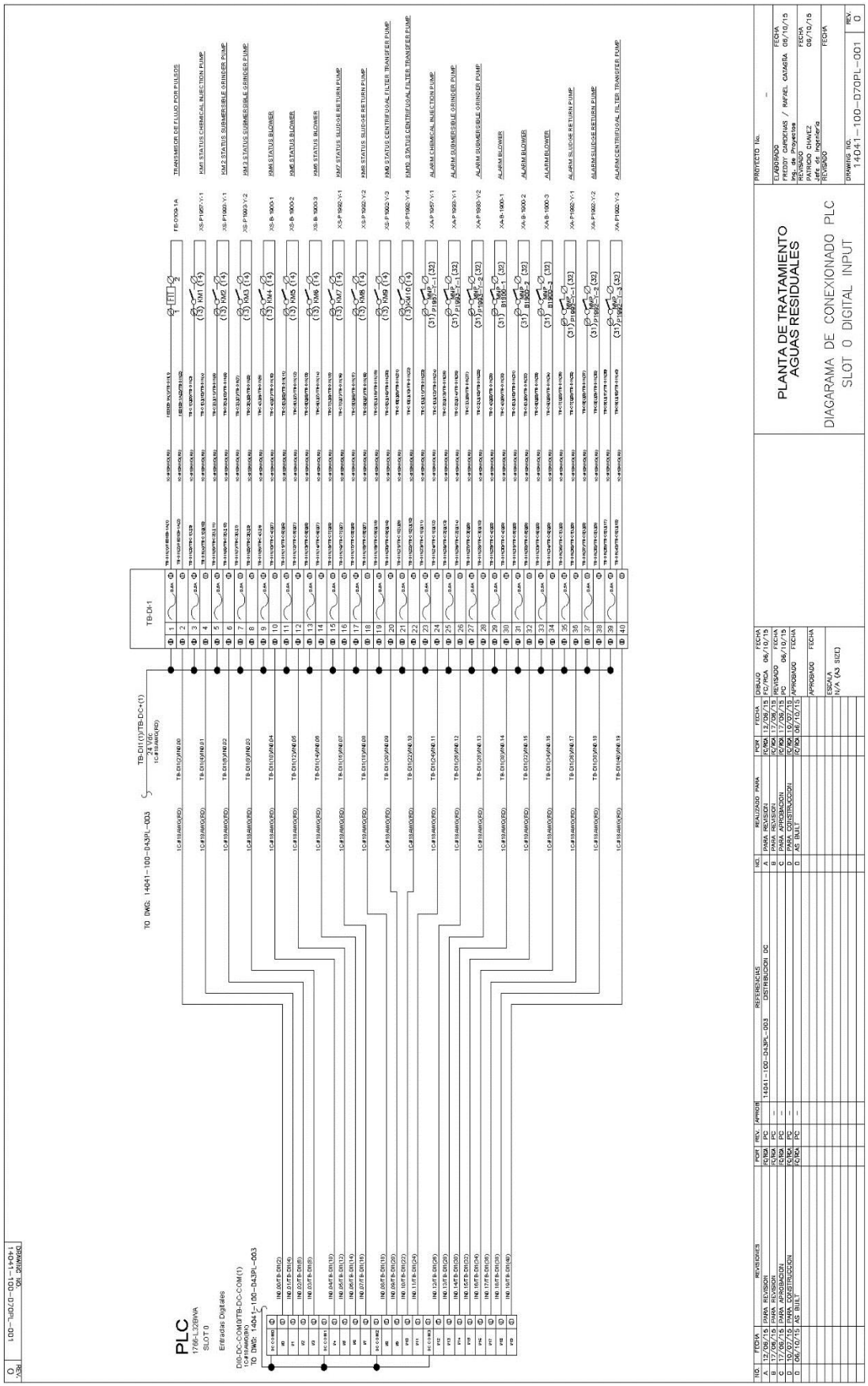
Anexo 7. Dimensionamiento de cables eléctricos para alimentación a motores eléctricos

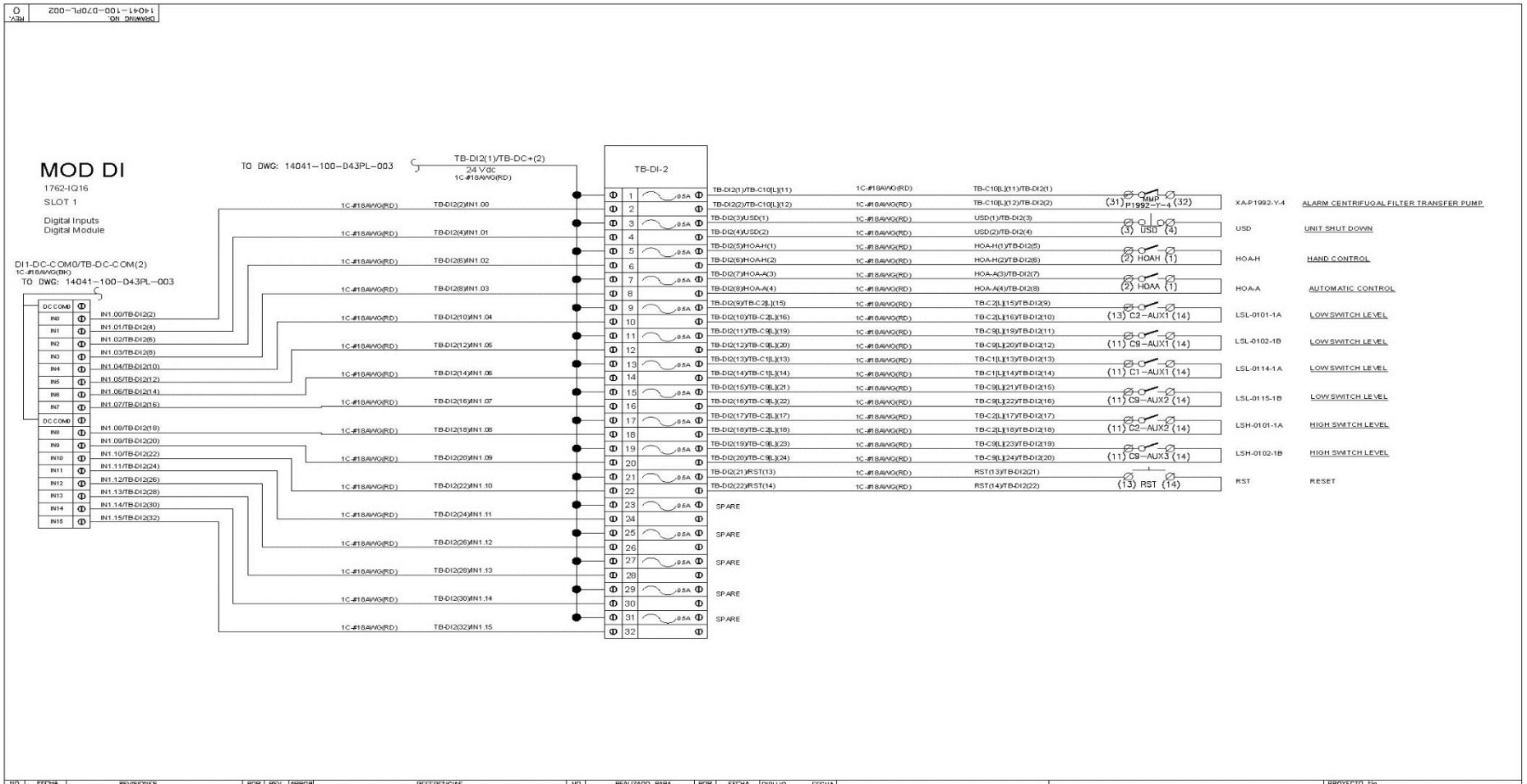
| | | | |
|---|---|---|---|
| REPSOL - PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA | | Department: | Engineering |
| | | Code: | 14041-100-D47CA-001-0 |
| | | Revision: | |
| | | Page: | |

POWER CABLE SCHEDULE

| DESCRIPTION | | | | | | LOAD DATA | | | | | | | CABLE/TERMINATOR DETAIL | | | | | | | ROUTE |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ITEM | CABLE TAG | LENGHT (ft) | SERVICE | FROM | TO | VOLTAGE (kV) | POWER | UNITS | I (FLA) [A] | I (CABLE) [A] | DV% | TEMP JOB [°C] | GAUGE | TYPE | OD [INCHES] | INSULATION VOLATGE [V] | TERMINATORFROM | TERMINATORTO | RANGE OVER JK [INCHES] | |
| LOW VOLTAGE CABLE - 208/120 VAC | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | X10001PP-F.1 | 66 | FEEDER | X-11240 | X-10001-PP | 0,220 | 24,000 | HP | 61,82 | 86 | 1,03% | 36-40 | 3C# 4 AWG+GND | TC-XHHW-2 | 0,83 INCH. | 600 VAC | - | - | - | CONDUIT |
| 2 | X10001PP-F.2 | 49 | FEEDER | X-11240 | X-10001-PP | 0,120 | 1,000 | HP | 8,18 | 18 | 1,35% | 36-40 | 2C# 12 AWG | TC-XHHW-2 | 0,41 INCH. | 600 VAC | - | - | - | CONDUIT |
| 3 | P1957Y1-F | 49 | MOTOR FEEDER | X-10001-PP | P-1957-Y-1 | 0,120 | 0,170 | HP | 1,39 | 18 | 0,23% | 36-40 | 3C# 12 AWG | TC-XHHW-2 | 0,43 INCH. | 600 VAC | - | - | - | CONDUIT |
| 4 | P1993Y1-F | 49 | MOTOR FEEDER | X-10001-PP | P-1993-Y-1 | 0,220 | 2,000 | HP | 5,15 | 18 | 0,40% | 36-40 | 3C# 12 AWG+GND | TC-XHHW-2 | 0,48 INCH. | 600 VAC | - | - | - | CONDUIT |
| 5 | P1993Y2-F | 49 | MOTOR FEEDER | X-10001-PP | P-1993-Y-2 | 0,220 | 2,000 | HP | 5,15 | 18 | 0,40% | 36-40 | 3C# 12 AWG+GND | TC-XHHW-2 | 0,48 INCH. | 600 VAC | - | - | - | CONDUIT |
| 6 | B19001-F | 49 | MOTOR FEEDER | X-10001-PP | B-1900-1 | 0,220 | 3,000 | HP | 13,39 | 18 | 1,20% | 36-40 | 3C# 12 AWG+GND | TC-XHHW-2 | 0,48 INCH. | 600 VAC | - | - | - | CONDUIT |
| 7 | B19002-F | 49 | MOTOR FEEDER | X-10001-PP | B-1900-2 | 0,220 | 6,000 | HP | 15,46 | 27 | 0,73% | 36-40 | 3C# 10 AWG+GND | TC-XHHW-2 | 0,55 INCH. | 600 VAC | - | - | - | CONDUIT |
| 8 | B19003-F | 49 | MOTOR FEEDER | X-10001-PP | B-1900-3 | 0,220 | 6,000 | HP | 15,46 | 27 | 0,73% | 36-40 | 3C# 10 AWG+GND | TC-XHHW-2 | 0,55 INCH. | 600 VAC | - | - | - | CONDUIT |
| 9 | B19002-F | 49 | MOTOR FEEDER | X-10001-PP | B-1900-2 | 0,220 | 6,000 | HP | 15,46 | 27 | 0,73% | 36-40 | 3C# 10 AWG+GND | TC-XHHW-2 | 0,55 INCH. | 600 VAC | - | - | - | CONDUIT |
| 10 | B19003-F | 49 | MOTOR FEEDER | X-10001-PP | B-1900-3 | 0,220 | 6,000 | HP | 15,46 | 27 | 0,73% | 36-40 | 3C# 10 AWG+GND | TC-XHHW-2 | 0,55 INCH. | 600 VAC | - | - | - | CONDUIT |
| 11 | P1992Y1-F | 49 | MOTOR FEEDER | X-10001-PP | P-1992-Y-1 | 0,220 | 1,500 | HP | 3,86 | 18 | 0,30% | 36-40 | 3C# 12 AWG+GND | TC-XHHW-2 | 0,48 INCH. | 600 VAC | - | - | - | CONDUIT |
| 12 | P1992Y2-F | 49 | MOTOR FEEDER | X-10001-PP | P-1992-Y-2 | 0,220 | 1,500 | HP | 3,86 | 18 | 0,30% | 36-40 | 3C# 12 AWG+GND | TC-XHHW-2 | 0,48 INCH. | 600 VAC | - | - | - | CONDUIT |

Anexo 8. Diseño de los diagramas de conexión para la conexión de instrumentos análogos y digitales






| NO. | FECHA | REVISIONES | POR | REV. | APROB | REFERENCIAS | NO. | REALIZADO PARA | POR | FECHA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 12/06/15 | PARA REVISION | FC/RCA | PC | – | 14041-100-D43PL-003 DISTRIBUCION DC | A | PARA REVISION | FC/RCA | 12/06/15 |
| B | 17/06/15 | PARA REVISION | FC/RCA | PC | – | | B | PARA REVISION | FC/RCA | 17/06/15 |
| C | 17/06/15 | PARA APROBACION | FC/RCA | PC | – | | C | PARA APROBACION | FC/RCA | 17/06/15 |
| D | 10/07/15 | PARA CONSTRUCCION | FC/RCA | PC | – | | D | PARA CONSTRUCCION | FC/RCA | 10/07/15 |
| 0 | 06/10/15 | AS BUILT | FC/RCA | PC | – | | 0 | AS BUILT | FC/RCA | 06/10/15 |

DIBUJO FECHA
FC/RCA 06/10/15
REVISADO FECHA
PC 06/10/15
APROBADO FECHA
06/10/15
APROBADO FECHA
– 06/10/15
ESCALA
N/A (A3 SIZE)

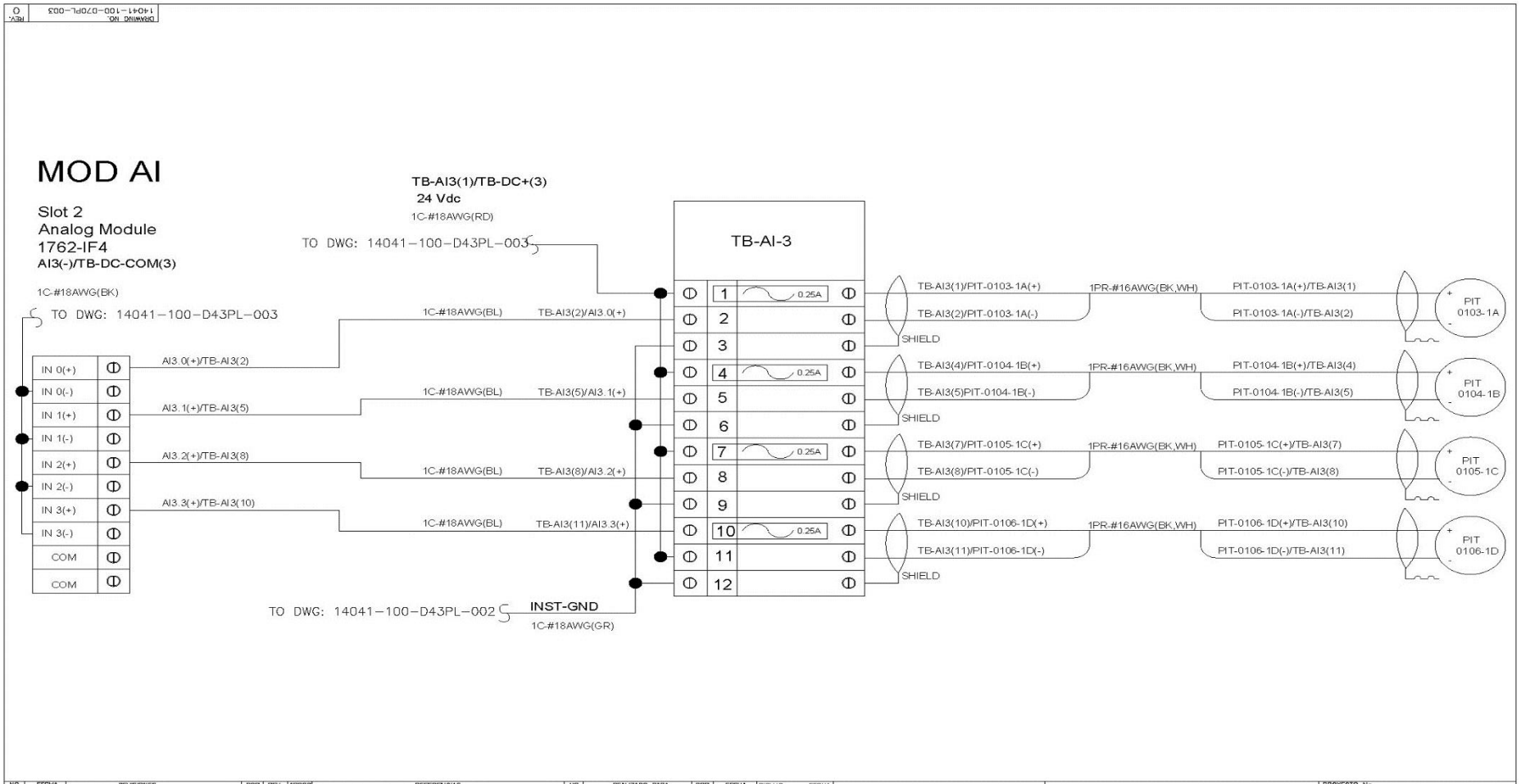
PLANTA DE TRATAMIENTO
AGUAS RESIDUALES

DIAGRAMA DE CONEXIONADO PLC

PROYECTO No.
–

ELABORADO FECHA
FREDDY CARDENAS/RAFAEL CATAGRA 06/10/15
Ing. de Proyectos
REVISADO FECHA
PATRICIO CHAVEZ 06/10/15
Jefe de Ingeniería
REVISADO FECHA
06/10/15

DRAWING NO. 14041-100-D70PL-002 REV. 0



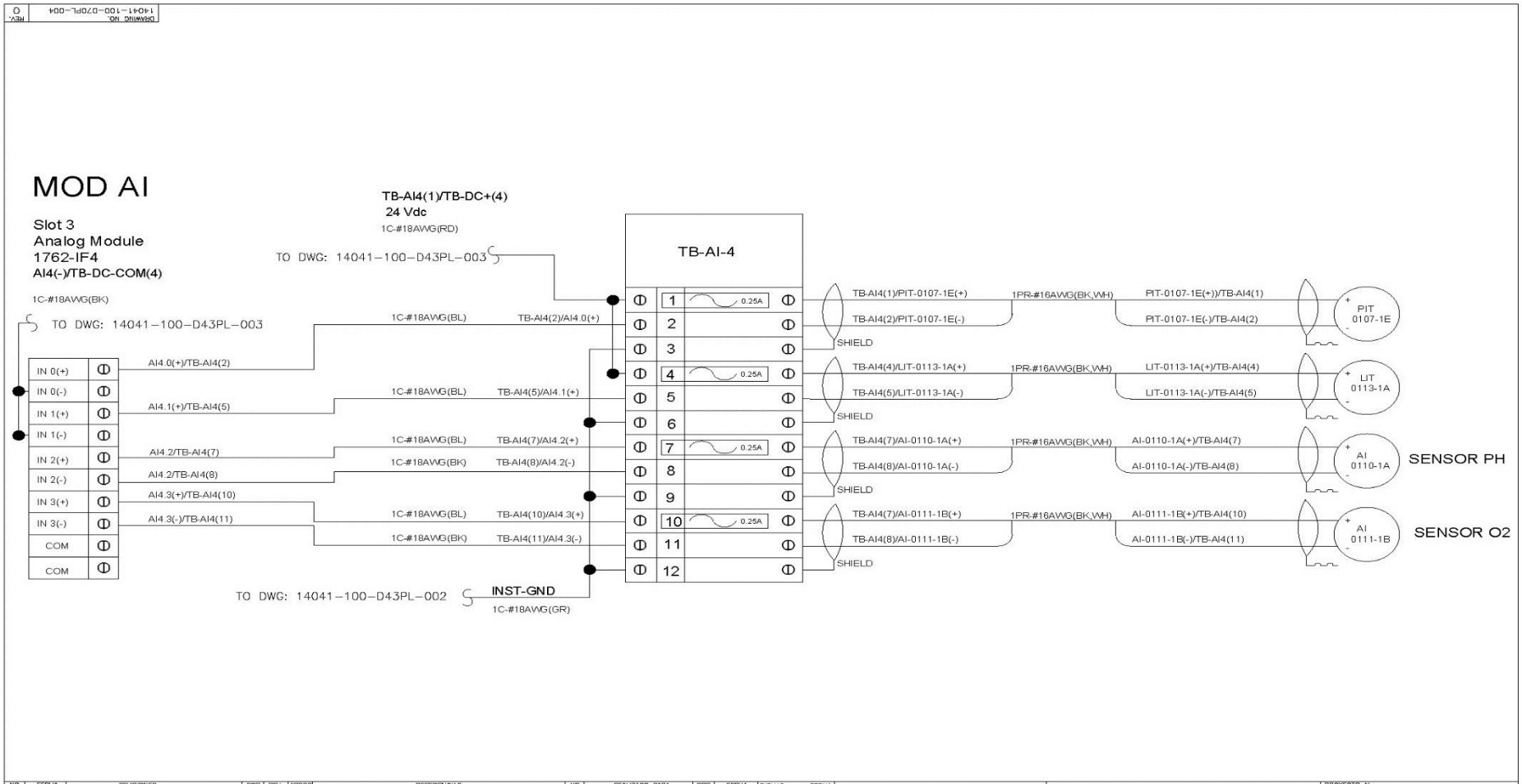

| NO. | FECHA | REVISIONES | POR | REV. | APROB | REFERENCIAS | NO. | REALIZADO PARA | POR | FECHA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 12/06/15 | PARA REVISION | FC/RCA | PC | – | 14041-100-D43PL-003 DISTRIBUCION DC | A | PARA REVISION | FC/RCA | 12/06/15 |
| B | 17/06/15 | PARA REVISION | FC/RCA | PC | – | 14041-100-D43PL-002 DIAGRAMA DE DISTRIBUCION AC | B | PARA REVISION | FC/RCA | 17/06/15 |
| C | 17/06/15 | PARA APROBACION | FC/RCA | PC | – | | C | PARA APROBACION | FC/RCA | 17/06/15 |
| D | 10/07/15 | PARA CONSTRUCCION | FC/RCA | PC | – | | D | PARA CONSTRUCCION | FC/RCA | 10/07/15 |
| 0 | 06/10/15 | AS BUILT | FC/RCA | PC | – | | 0 | AS BUILT | FC/RCA | 06/10/15 |

DIBUJO FECHA FC/RCA 06/10/15
REVISADO FECHA PC 06/10/15
APROBADO FECHA
APROBADO FECHA
ESCALA N/A (A3 SIZE)

PLANTA DE TRATAMIENTO AGUAS RESIDUALES

DIAGRAMA DE CONEXIONADO PLC

PROYECTO No. –
ELABORADO FECHA
FREDDY CARDENAS / RAFAEL CATAGÑA 06/10/15
Ing. de Proyectos
REVISADO FECHA
PATRICIO CHAVEZ 06/10/15
Jefe de Ingeniería
REVISADO FECHA
DRAWING NO. 14041-100-D70PL-003 REV. 0



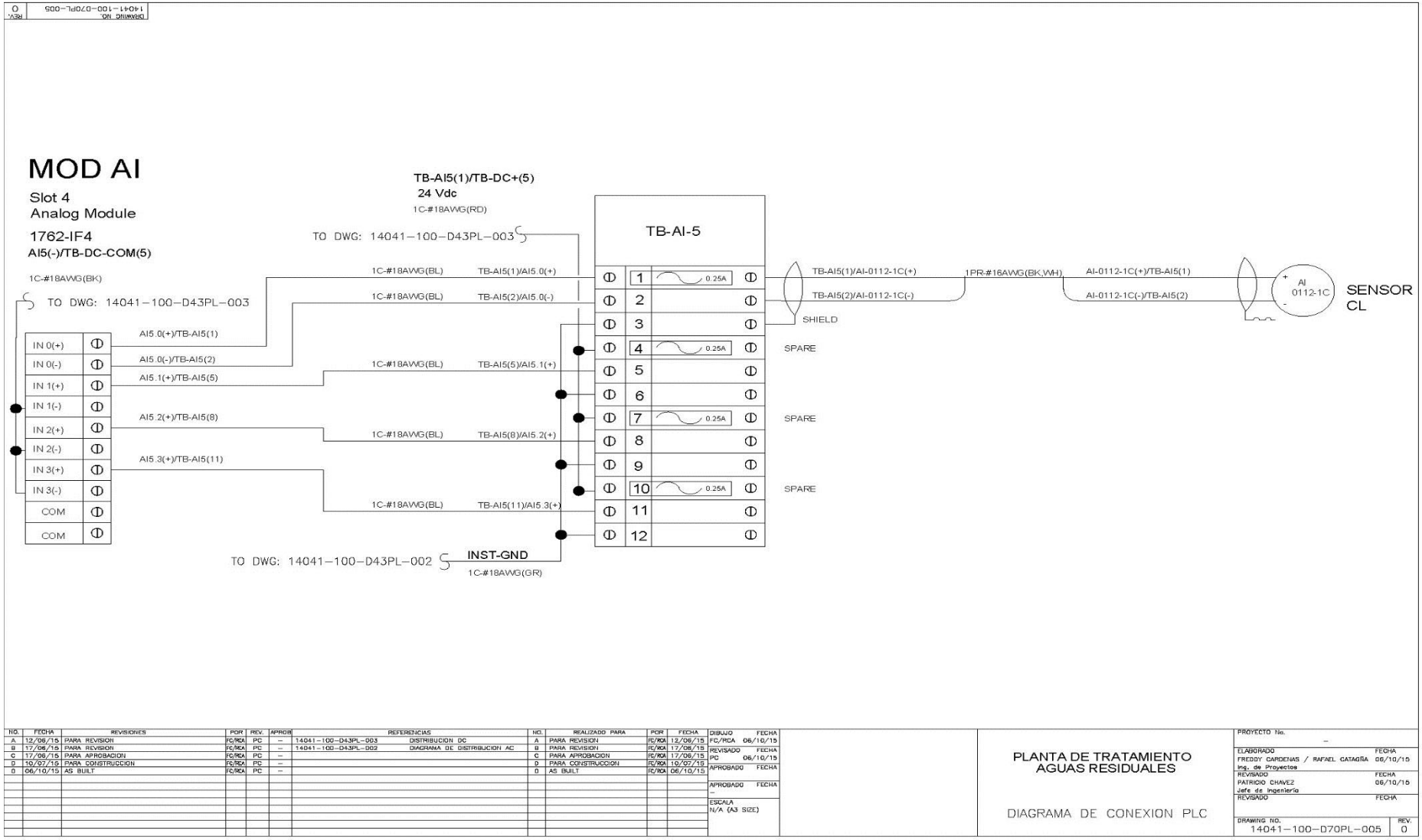

| NO. | FECHA | REVISIONES | POR | REV. | APROB | REFERENCIAS | NO. | REALIZADO PARA | POR | FECHA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 12/06/15 | PARA REVISION | FC/RCA | PC | – | 14041-100-D43PL-003 DISTRIBUCION DC | A | PARA REVISION | FC/RCA | 12/06/15 |
| B | 17/06/15 | PARA REVISION | FC/RCA | PC | – | 14041-100-D43PL-002 DIAGRAMA DE DISTRIBUCION AC | B | PARA REVISION | FC/RCA | 17/06/15 |
| C | 17/06/15 | PARA APROBACION | FC/RCA | PC | – | | C | PARA APROBACION | FC/RCA | 17/06/15 |
| D | 10/07/15 | PARA CONSTRUCCION | FC/RCA | PC | – | | D | PARA CONSTRUCCION | FC/RCA | 10/07/15 |
| 0 | 06/10/15 | AS BUILT | FC/RCA | PC | – | | 0 | AS BUILT | FC/RCA | 06/10/15 |

DIBUJO FECHA FC/RCA 06/10/15
REVISADO FECHA PC 06/10/15
APROBADO FECHA 06/10/15
APROBADO FECHA – 06/10/15
ESCALA N/A (A3 SIZE)

PLANTA DE TRATAMIENTO AGUAS RESIDUALES

DIAGRAMA CONEXIONADO PLC

PROYECTO No. –
ELABORADO FECHA
FREDDY CARDENAS / RAFAEL CATAGÑA 06/10/15
Ing. de Proyectos
REVISADO FECHA
PATRICIO CHAVEZ 06/10/15
Jefe de Ingeniería
REVISADO FECHA
06/10/15
DRAWING NO. 14041-100-D70PL-004 REV. 0




| NO. | FECHA | REVISIONES | POR | REV. | APROB | REFERENCIAS | | NO. | REALIZADO PARA | POR | FECHA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 12/06/15 | PARA REVISION | FC/RCA | PC | – | 14041-100-D43PL-003 | DISTRIBUCION DC | A | PARA REVISION | FC/RCA | 12/06/15 |
| B | 17/06/15 | PARA REVISION | FC/RCA | PC | – | 14041-100-D43PL-002 | DIAGRAMA DE DISTRIBUCION AC | B | PARA REVISION | FC/RCA | 17/06/15 |
| C | 17/06/15 | PARA APROBACION | FC/RCA | PC | – | | | C | PARA APROBACION | FC/RCA | 17/06/15 |
| D | 10/07/15 | PARA CONSTRUCCION | FC/RCA | PC | – | | | D | PARA CONSTRUCCION | FC/RCA | 10/07/15 |
| 0 | 06/10/15 | AS BUILT | FC/RCA | PC | – | | | 0 | AS BUILT | FC/RCA | 06/10/15 |

DIBUJO FECHA
FC/RCA 06/10/15
REVISADO FECHA
PC 06/10/15
APROBADO FECHA
APROBADO FECHA
–
ESCALA
N/A (A3 SIZE)

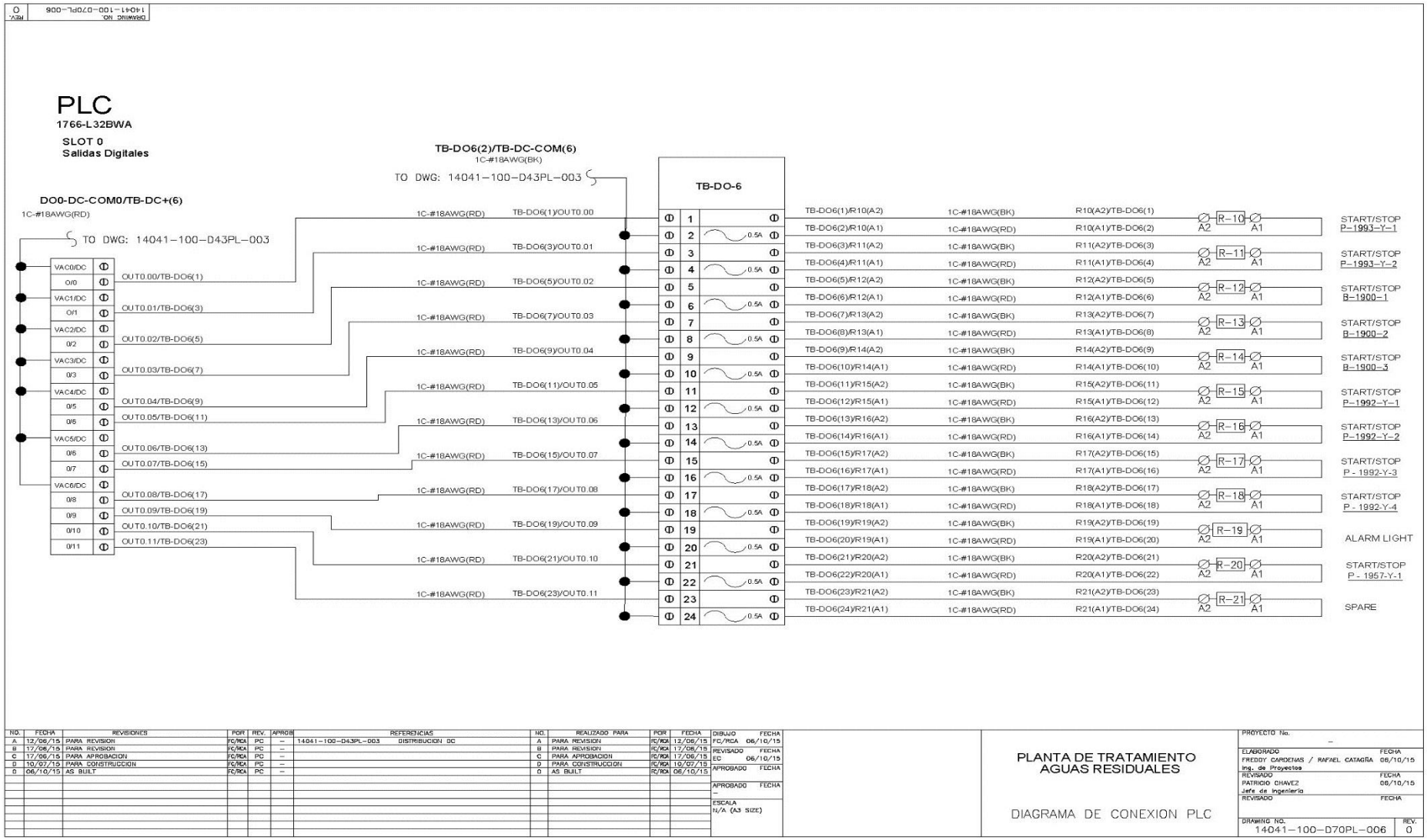
PLANTA DE TRATAMIENTO
AGUAS RESIDUALES

DIAGRAMA DE CONEXION PLC

PROYECTO No.
–

ELABORADO FECHA
FREDDY CARDENAS / RAFAEL CATAGÑA 06/10/15
Ing. de Proyectos
REVISADO FECHA
PATRICIO CHAVEZ 06/10/15
Jefe de Ingeniería
REVISADO FECHA

DRAWING NO. 14041-100-D70PL-005 REV. 0




| NO. | FECHA | REVISIONES | POR | REV. | APROB | REFERENCIAS | NO. | REALIZADO PARA | POR | FECHA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 12/06/15 | PARA REVISION | FC/RCA | PC | – | 14041-100-D43PL-003 DISTRIBUCION DC | A | PARA REVISION | FC/RCA | 12/06/15 |
| B | 17/06/15 | PARA REVISION | FC/RCA | PC | – | | B | PARA REVISION | FC/RCA | 17/06/15 |
| C | 17/06/15 | PARA APROBACION | FC/RCA | PC | – | | C | PARA APROBACION | FC/RCA | 17/06/15 |
| D | 10/07/15 | PARA CONSTRUCCION | FC/RCA | PC | – | | D | PARA CONSTRUCCION | FC/RCA | 10/07/15 |
| 0 | 06/10/15 | AS BUILT | FC/RCA | PC | – | | 0 | AS BUILT | FC/RCA | 06/10/15 |

DIBUJO FECHA
FC/RCA 06/10/15
REVISADO FECHA
EC 06/10/15
APROBADO FECHA
APROBADO FECHA
–
ESCALA
N/A (A3 SIZE)

PLANTA DE TRATAMIENTO
AGUAS RESIDUALES

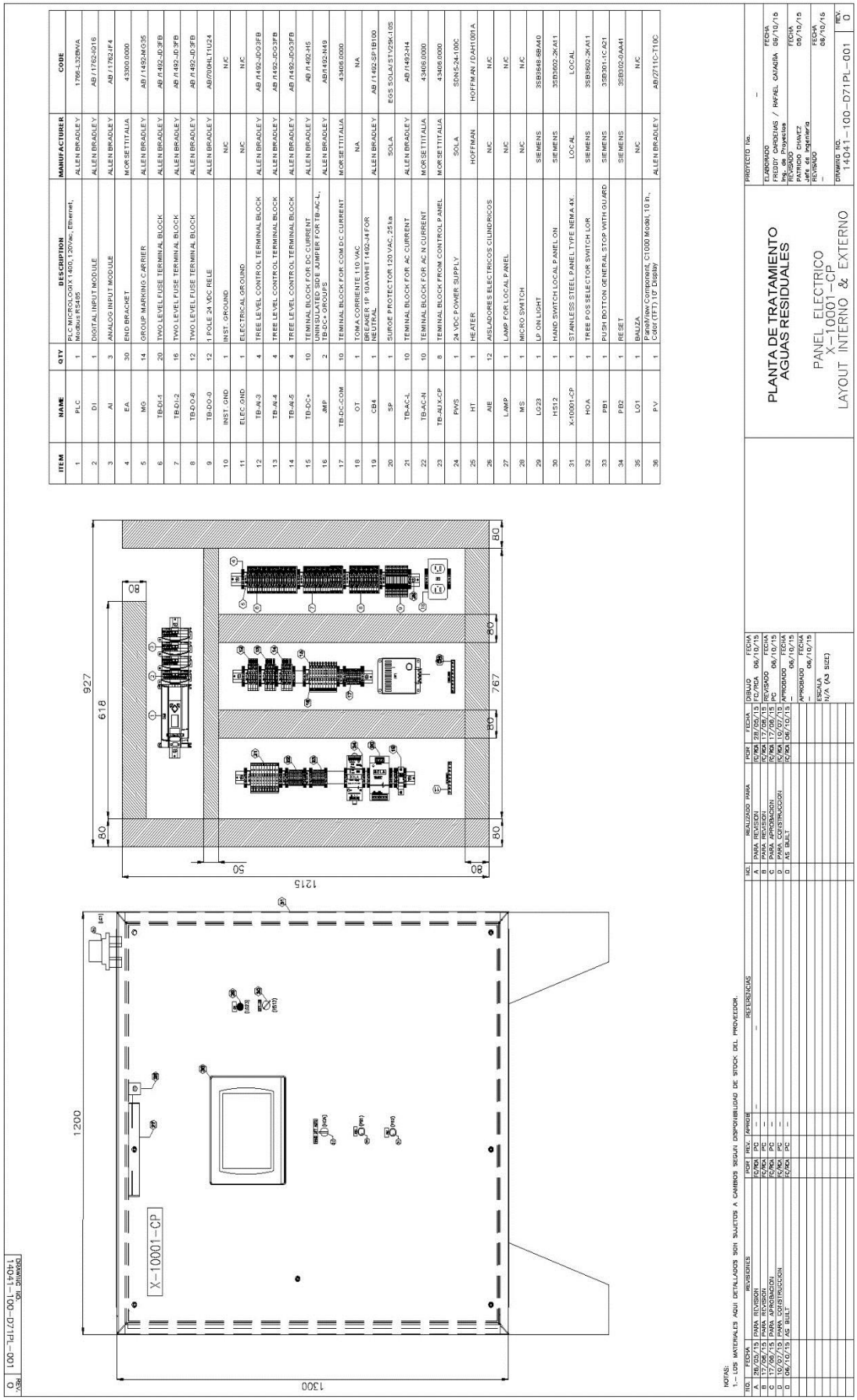
DIAGRAMA DE CONEXION PLC

PROYECTO No.
–

ELABORADO FECHA
FREDDY CARDENAS / RAFAEL CATAGÑA 06/10/15
Ing. de Proyectos
REVISADO FECHA
PATRICIO CHAVEZ 06/10/15
Jefe de Ingeniería
REVISADO FECHA

DRAWING NO. 14041-100-D70PL-006 REV. 0

Anexo 9. Diseño del tablero de control



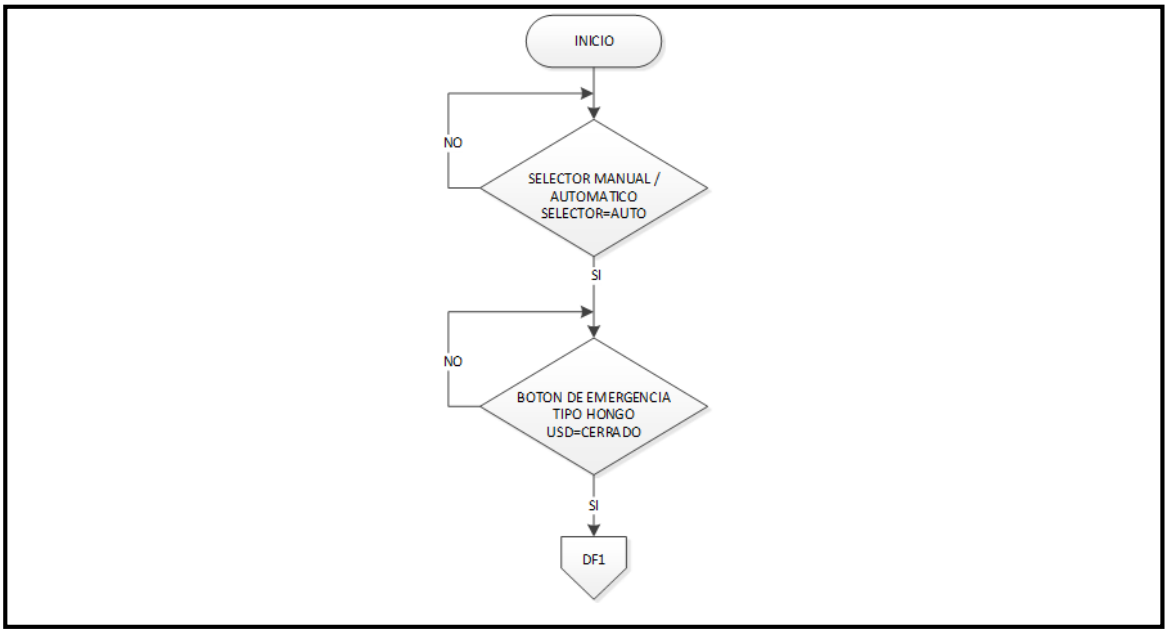

| ITEM | NAME | QTY | DESCRIPTION | MANUFACTURER | CODE |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | PLC | 1 | PLC MICROLOGIX 1400, 120Vac, Ethernet, Modbus RS485 | ALLEN BRADLEY | 1766-L32BWA |
| 2 | DI | 1 | DIGITAL INPUT MODULE | ALLEN BRADLEY | AB / 1762-IQ16 |
| 3 | AI | 3 | ANALOG INPUT MODULE | ALLEN BRADLEY | AB / 1762-IF4 |
| 4 | EA | 30 | END BRACKET | MORSETTITALIA | 43300.0000 |
| 5 | MG | 14 | GROUP MARKING CARRIER | ALLEN BRADLEY | AB / 1492-MG35 |
| 6 | TB-DI-1 | 20 | TWO LEVEL FUSE TERMINAL BLOCK | ALLEN BRADLEY | AB /1492-JD3FB |
| 7 | TB-DI-2 | 16 | TWO LEVEL FUSE TERMINAL BLOCK | ALLEN BRADLEY | AB /1492-JD3FB |
| 8 | TB-DO-6 | 12 | TWO LEVEL FUSE TERMINAL BLOCK | ALLEN BRADLEY | AB /1492-JD3FB |
| 9 | TB-DO-0 | 12 | 1 POLE 24 VDC RELE | ALLEN BRADLEY | AB/700HL11U24 |
| 10 | INST_GND | 1 | INST. GROUND | N/C | N/C |
| 11 | ELEC_GND | 1 | ELECTRICAL GROUND | N/C | N/C |
| 12 | TB-AI-3 | 4 | TREE LEVEL CONTROL TERMINAL BLOCK | ALLEN BRADLEY | AB /1492-JD3FB |
| 13 | TB-AI-4 | 4 | TREE LEVEL CONTROL TERMINAL BLOCK | ALLEN BRADLEY | AB /1492-JD3FB |
| 14 | TB-AI-5 | 4 | TREE LEVEL CONTROL TERMINAL BLOCK | ALLEN BRADLEY | AB /1492-JD3FB |
| 15 | TB-DC+ | 10 | TERMINAL BLOCK FOR DC CURRENT | ALLEN BRADLEY | AB /1492-H5 |
| 16 | JMP | 2 | UNINSULATED SIDE JUMPER FOR TB-AC-L, TB-DC-GROUPS | ALLEN BRADLEY | AB/1492-H49 |
| 17 | TB-DC-COM | 10 | TERMINAL BLOCK FOR COM DC CURRENT | MORSETTITALIA | 43406.0000 |
| 18 | OT | 1 | TOMA CORRIENTE 110 VAC | NA | NA |
| 19 | CB4 | 1 | BREAKER 1P 10A/WHIT 1492-J4 FOR NEUTRAL | ALLEN BRADLEY | AB /1492-SP1B100 |
| 20 | SP | 1 | SURGE PROTECTOR 120 VAC, 25 ka | SOLA | EGS SOLA/STV25K-105 |
| 21 | TB-AC-L | 10 | TERMINAL BLOCK FOR AC CURRENT | ALLEN BRADLEY | AB /1492-H4 |
| 22 | TB-AC-N | 10 | TERMINAL BLOCK FOR AC N CURRENT | MORSETTITALIA | 43406.0000 |
| 23 | TB-AU X-CP | 8 | TERMINAL BLOCK FROM CONTROL PANEL | MORSETTITALIA | 43406.0000 |
| 24 | PWS | 1 | 24 VDC POWER SUPPLY | SOLA | SDN5-24-100C |
| 25 | HT | 1 | HEATER | HOFFMAN | HOFFMAN / DAH1001A |
| 26 | AIE | 12 | AISLADORES ELECTRICOS CILINDRICOS | N/C | N/C |
| 27 | LAMP | 1 | LAMP FOR LOCAL PANEL | N/C | N/C |
| 28 | MS | 1 | MICRO SWITCH | N/C | N/C |
| 29 | LG23 | 1 | LP ON LIGHT | SIEMENS | 3SB3546-6BA40 |
| 30 | HS12 | 1 | HAND SWITCH LOCAL PANEL ON | SIEMENS | 3SB3502-2K411 |
| 31 | X-10001-CP | 1 | STAINLESS STEEL PANEL TYPE NEMA 4X | LOCAL | LOCAL |
| 32 | HOA | 1 | TREE POS SELECTOR SWITCH LOR | SIEMENS | 3SB3502-2K411 |
| 33 | PB1 | 1 | PUSH BOTTON GENERAL STOP WITH GUARD | SIEMENS | 3SB301-1CA21 |
| 34 | PB2 | 1 | RESET | SIEMENS | 3SB302-0AA41 |
| 35 | LG1 | 1 | BALIZA | N/C | N/C |
| 36 | PV | 1 | Panel View Component, C1000 Mobil, 10 in., Color (RT) 10" Display | ALLEN BRADLEY | AB/2711C-T10C |

Anexo 10. Alarmas

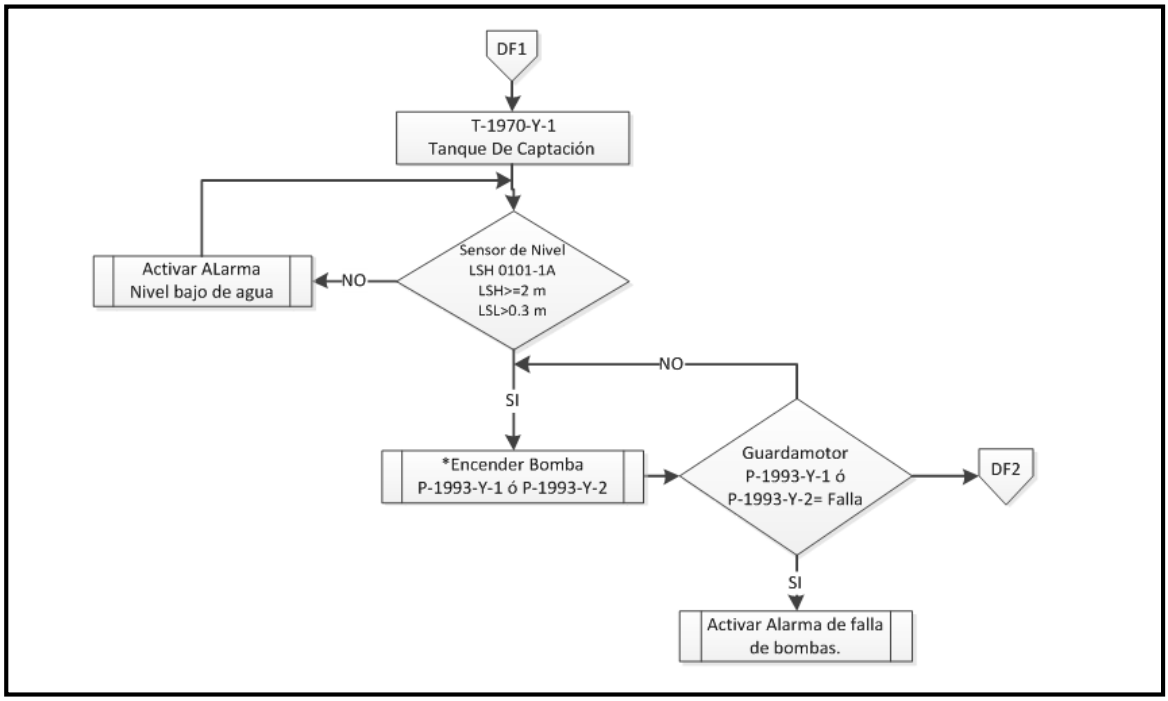
| Tag | Descripción | Condición | Alarma | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | HMI | Sonora | Baliza |
| LSL0101-1 A | Switch de nivel bajo tanque de captación | < 0.3 [m] | X | X | X |
| LSH0101-1 A | Switch de nivel alto tanque de captación | > 2 [m] | X | | |
| PIT0103-1 A | Transmisor indicador de presión | >= 25 [psig] | X | X | X |
| FE0109-1 A | Medidor de flujo | >= 30 [gl/min] | X | | |
| PIT0104-1B | Transmisor indicador de presión | >= 4.5 [psig] | X | X | X |
| PIT0105-1C | Transmisor indicador de presión | >= 4.5 [psig] | X | X | X |
| AI0110-1 A | Analizador de PH | > 9 | X | X | X |
| | | < 5 | X | X | X |
| AI0111-1B | Analizador de $O_2$ | > 8 [mg/l] | X | X | X |
| | | < 2 [mg/l] | X | X | X |
| PIT0106-1D | Transmisor indicador de presión | >= 55 [psig] | X | X | X |
| | | >= 60 [psig] | X | X | X |
| LSL0115-1B | Switch de nivel bajo tanque de retrolavado | < 0.25 [m] | X | X | X |
| LSL0102-1B | Switch de nivel bajo tanque de prefiltrado | < 0.3 [m] | X | X | X |
| LSH0102-1B | Switch de nivel alto tanque de prefiltrado | > 1 [m] | X | | |
| AI0112-1C | Analizador de cloro libre residual | < 0.3 [ppm] | X | X | X |
| | | > 1.5 [ppm] | X | X | X |
| LIT0113-1A | Sensor ultrasónico de nivel | > 1.15 [m] | X | X | X |
| LSL0114-1A | Switch de nivel bajo tanque de hipoclorito | < 0.25 [m] | X | X | X |
| PIT0107-1E | Transmisor indicador de presión | >= 55 [psig] | X | X | X |
| XA-P1993Y1 | Estatus del guardamotor | Falla | X | X | X |
| XA-P1993Y2 | Estatus del guardamotor | Falla | X | X | X |
| XA-B19001 | Estatus del guardamotor | Falla | X | X | X |
| XA-B19002 | Estatus del guardamotor | Falla | X | X | X |
| XA-B19003 | Estatus del guardamotor | Falla | X | X | X |
| XA-P1957Y1 | Estatus del guardamotor | Falla | X | X | X |
| XA-P1992Y1 | Estatus del guardamotor | Falla | X | X | X |
| XA-P1992Y2 | Estatus del guardamotor | Falla | X | X | X |
| XA-P1992Y3 | Estatus del guardamotor | Falla | X | X | X |
| XA-P1993Y4 | Estatus del guardamotor | Falla | X | X | X |

Anexo 11. Diagramas de flujo del sistema de control

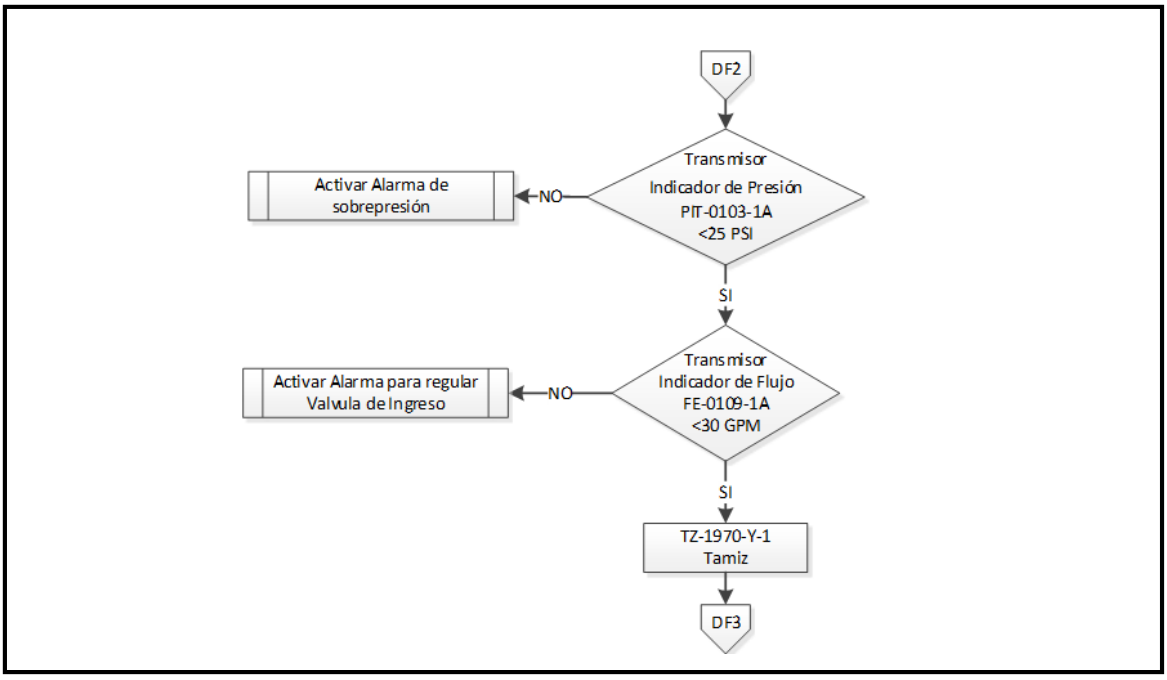
**Programa de control inicial**



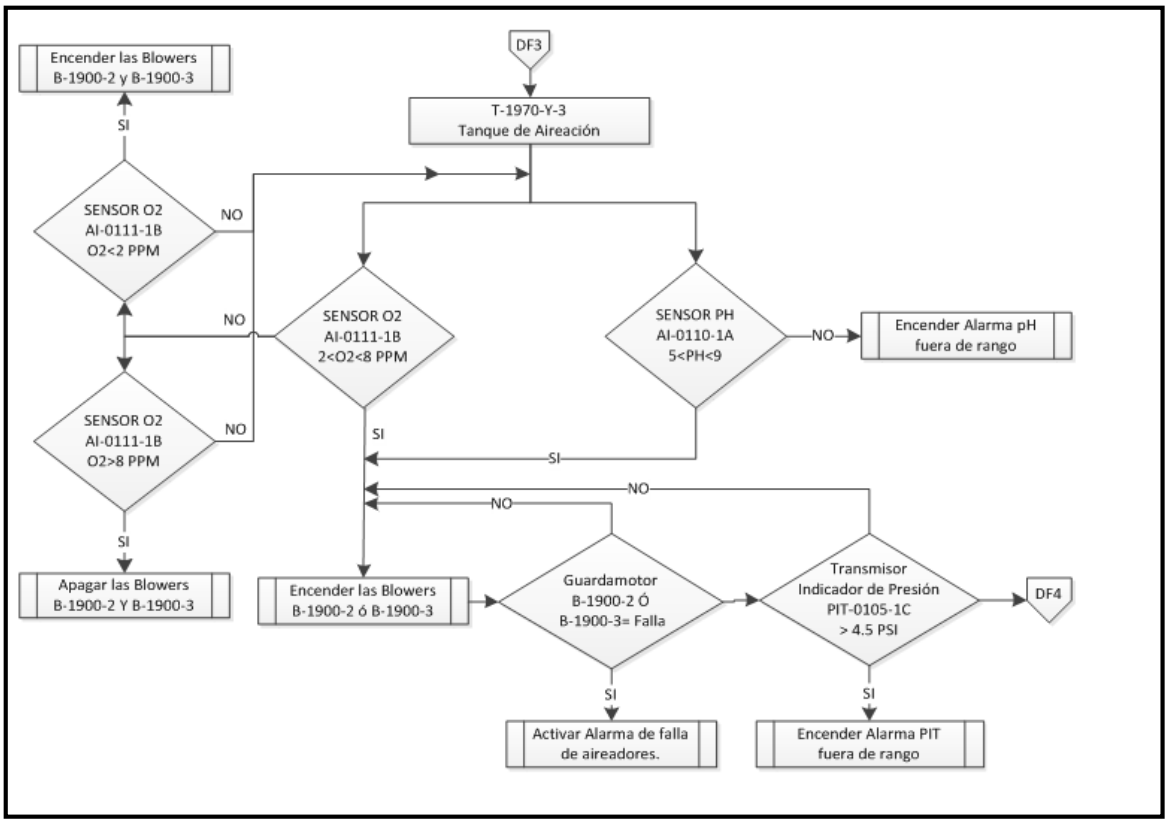

**Subrutina para el control del tanque de captación T-1970-Y-1**



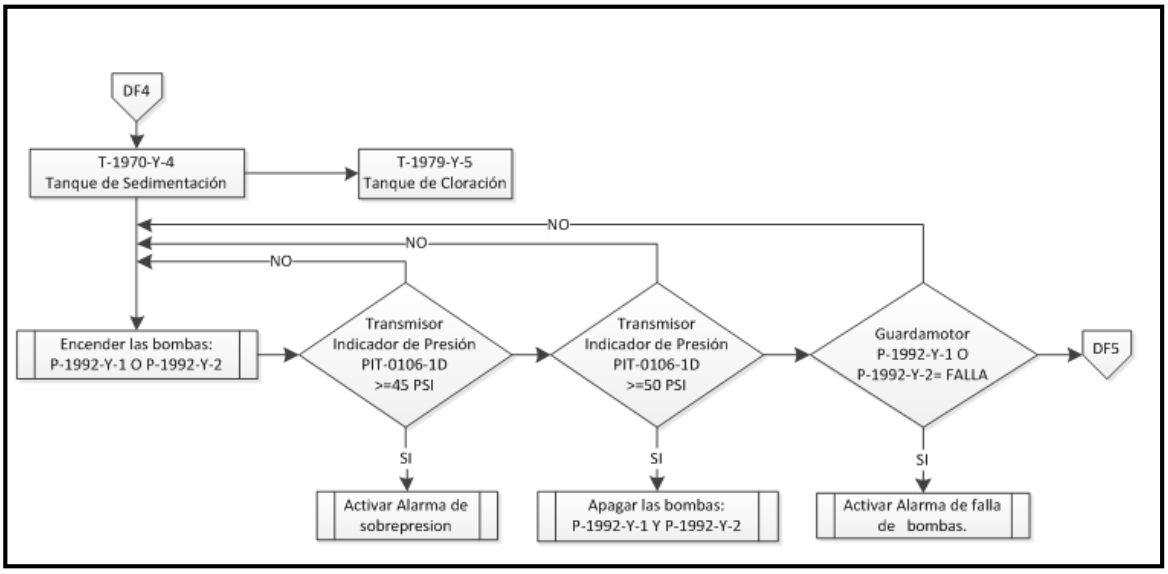
**Subrutina para el control del ingreso de agua hacia el Tamiz TZ-1970-Y-1**



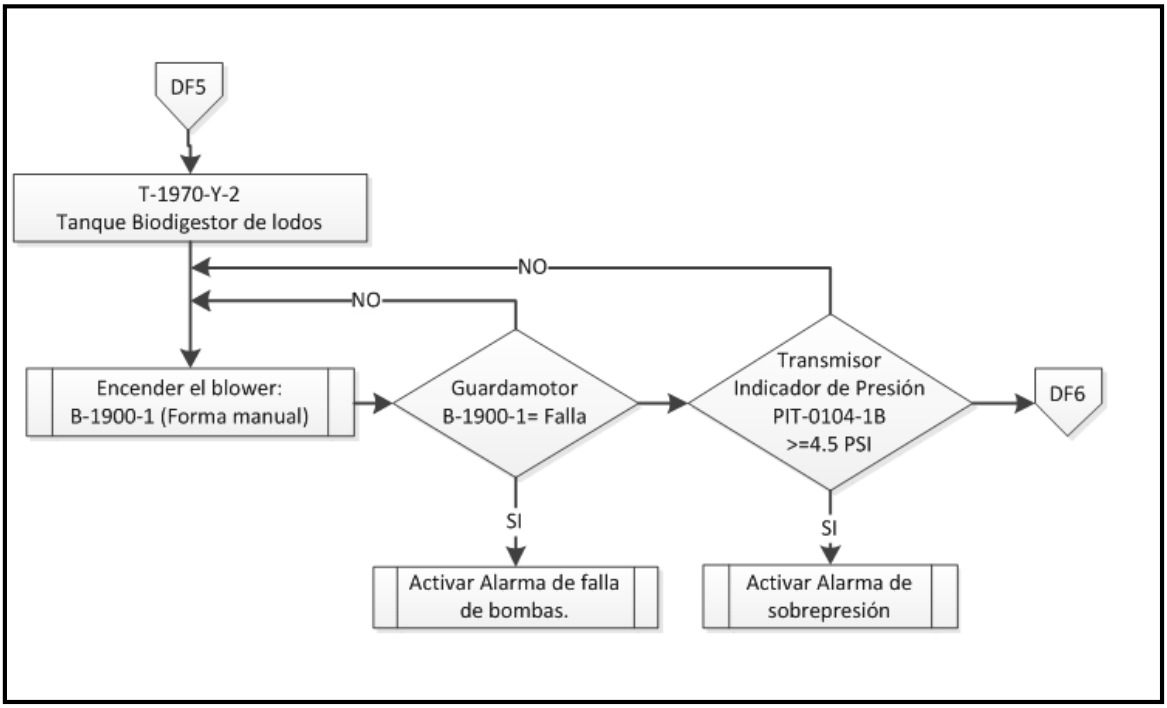

**Subrutina de control del tanque de aireación T-1970-Y-3**



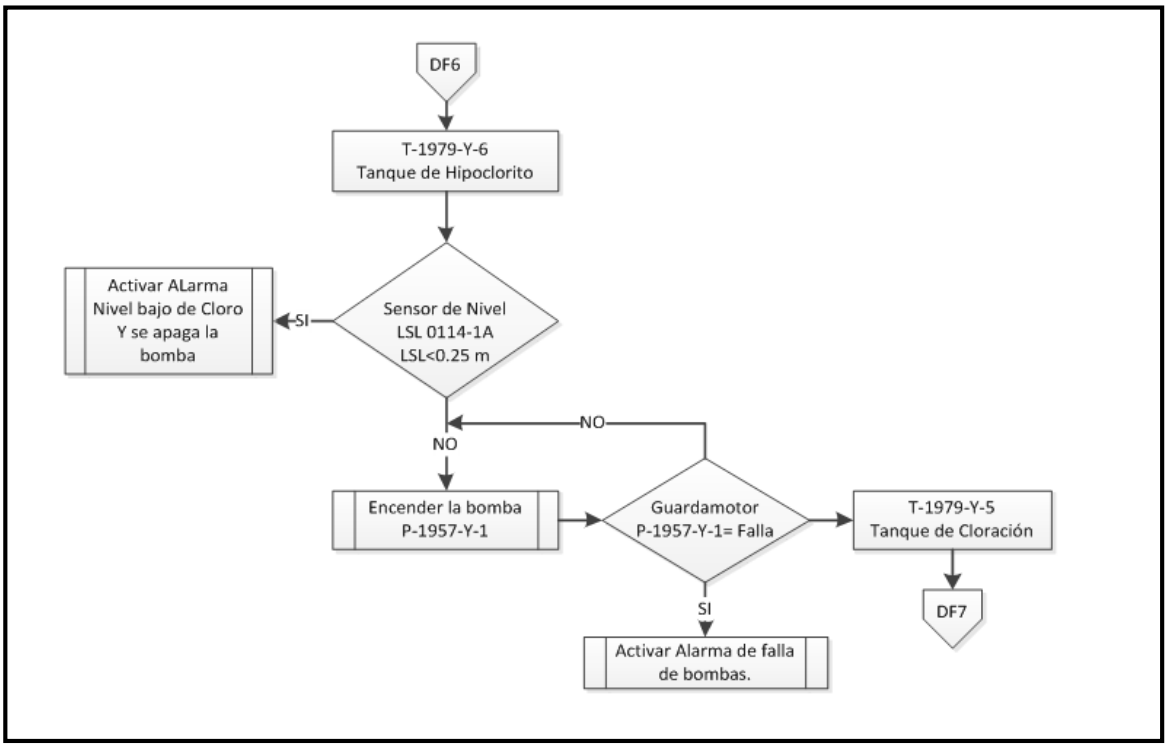
**Subrutina para el control del Tanque de Sedimentación T-1970-Y-4**



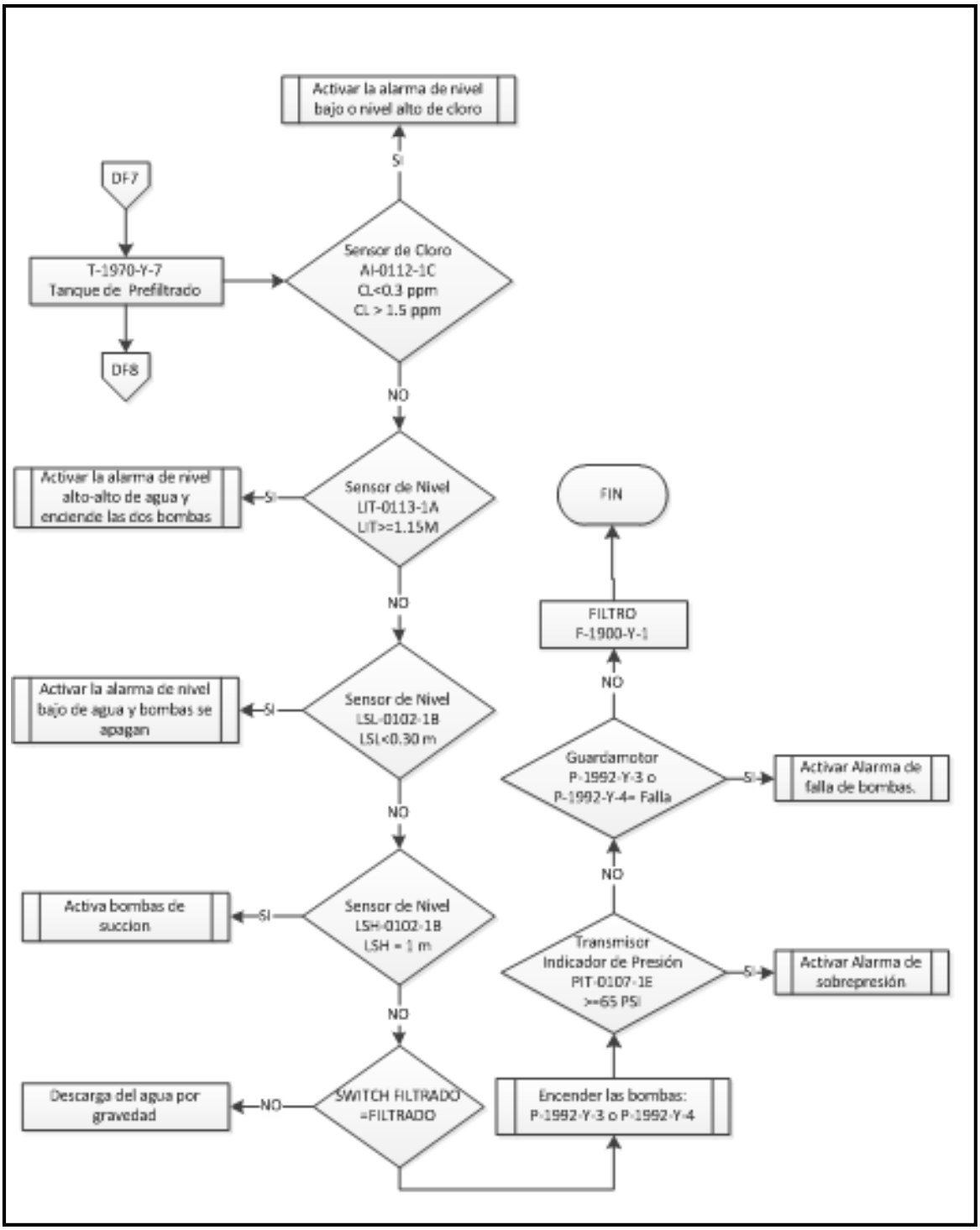

**Subrutina para el control del Tanque Biodigestor de Lodos T-1970-Y-2**



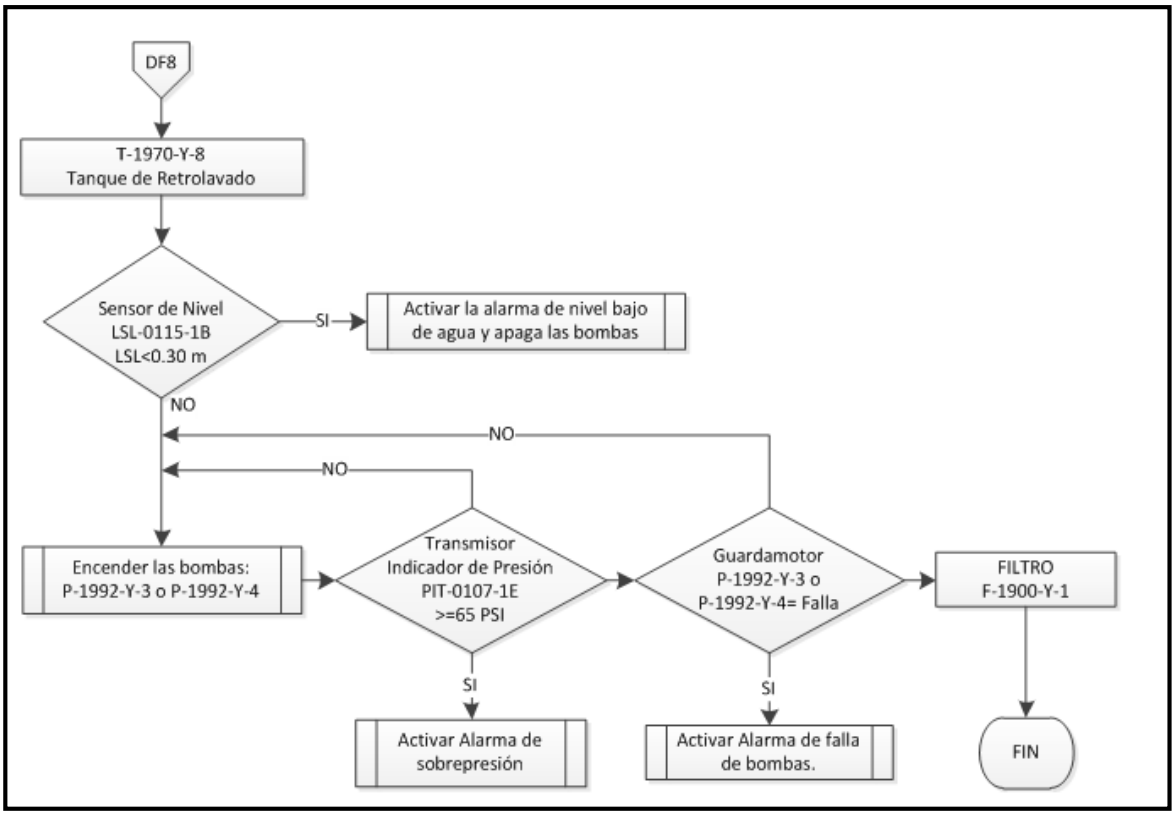
**Subrutina para el control del Tanque de Hipoclorito T-1970-Y-6**



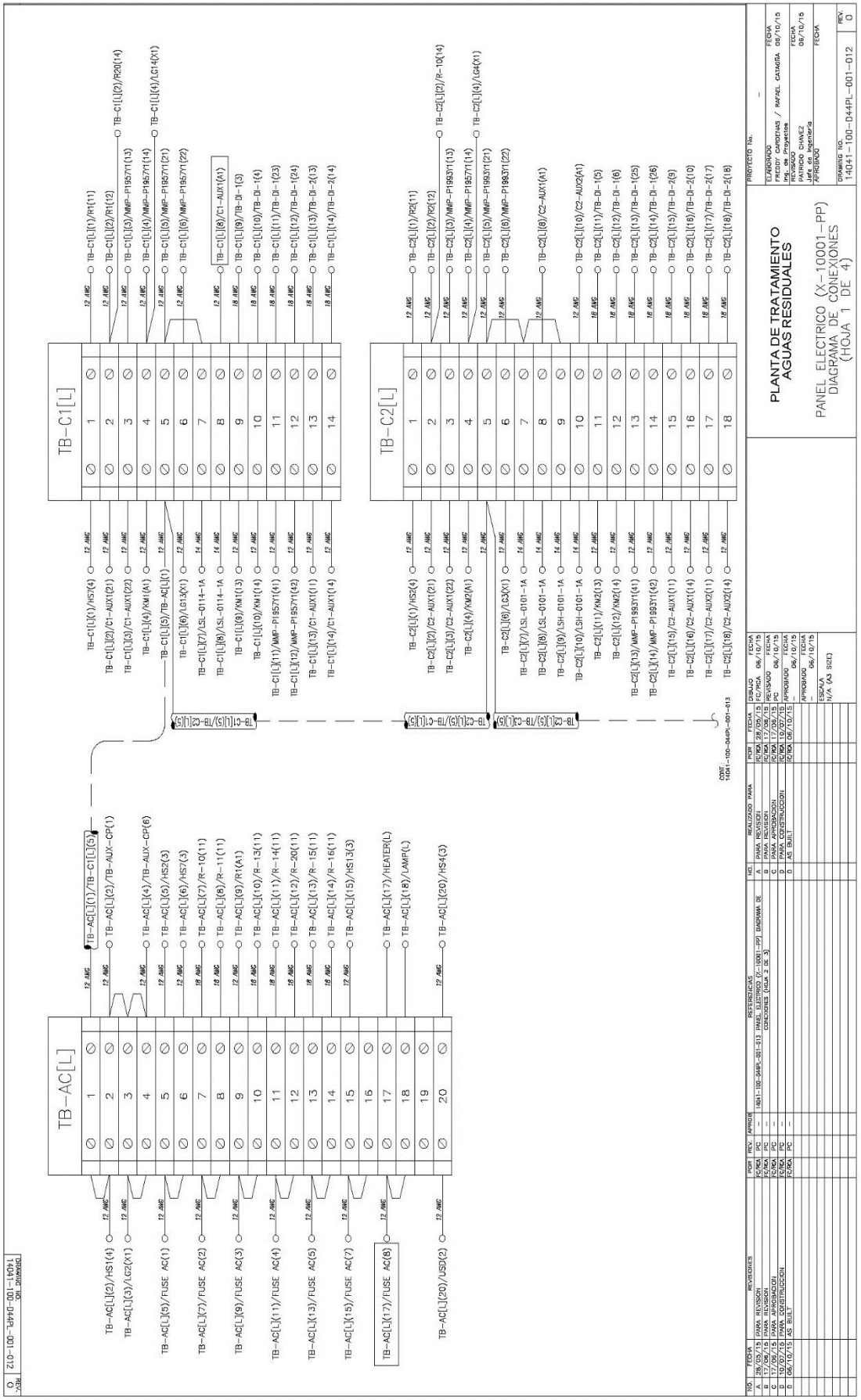
**Subrutina para el control del Tanque de Pre filtración T-1970-Y-7**

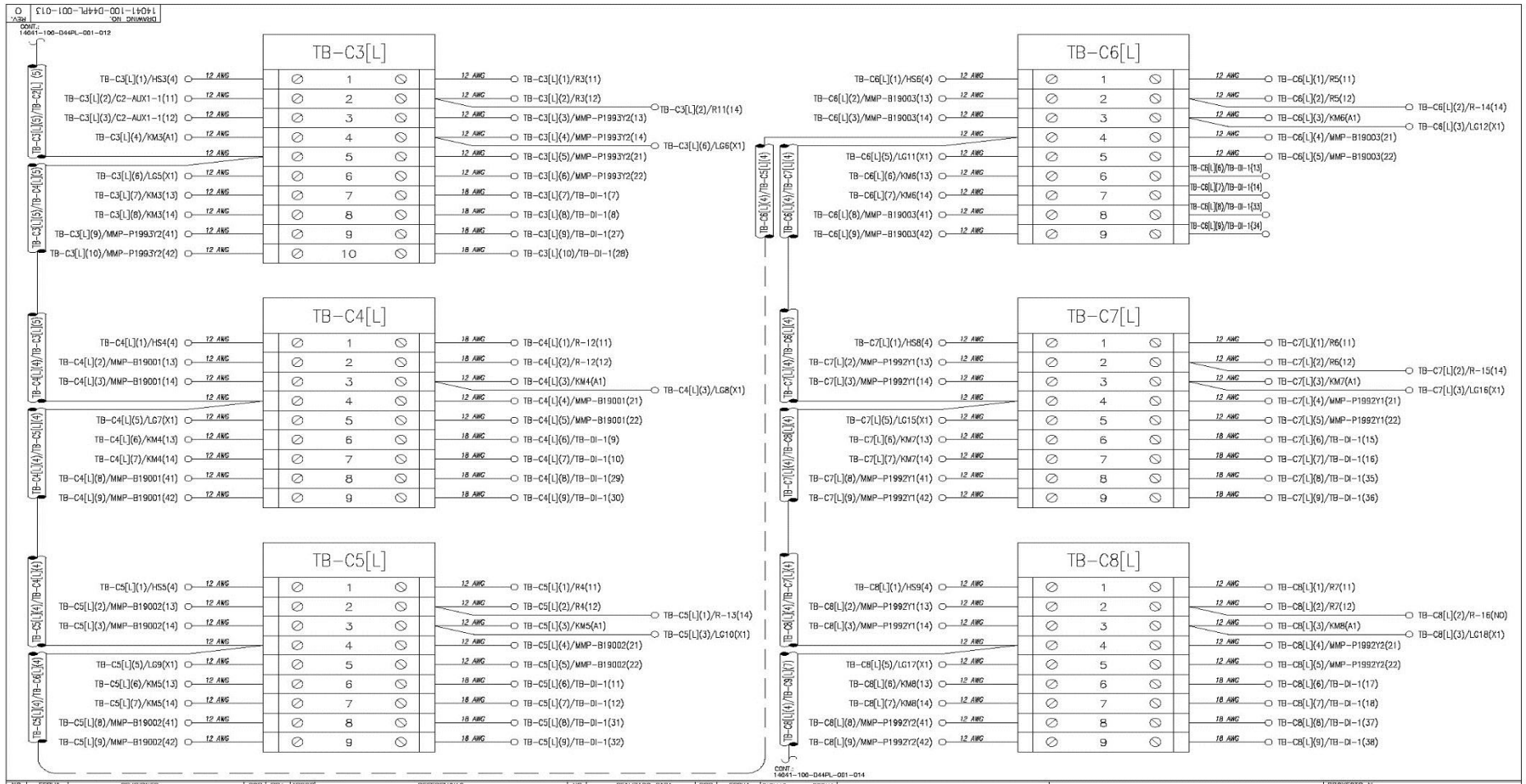


**Subrutina para el control del Tanque de retrolavado T-1970-Y-8**



Anexo 12. Marquillado de cables en tablero eléctrico






| NO. | FECHA | REVISIONES | POR | REV. | APROB | REFERENCIAS | NO. | REALIZADO PARA | POR | FECHA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 28/05/15 | PARA REVISION | FC/RCA | PC | – | 14041-100-D44PL-001-012 PANEL ELECTRICO (X-10001-PP) DIAGRAMA DE | A | PARA REVISION | FC/RCA | 28/05/15 |
| B | 17/06/15 | PARA REVISION | FC/RCA | PC | – | CONEXIONES (HOJA 1 DE 3) | B | PARA REVISION | FC/RCA | 17/06/15 |
| C | 17/06/15 | PARA APROBACION | FC/RCA | PC | – | 14041-100-D44PL-001-014 PANEL ELECTRICO (X-10001-PP) DIAGRAMA DE | C | PARA APROBACION | FC/RCA | 17/06/15 |
| D | 10/07/15 | PARA CONSTRUCCION | FC/RCA | PC | – | CONEXIONES (HOJA 3 DE 3) | D | PARA CONSTRUCCION | FC/RCA | 10/07/15 |
| 0 | 06/10/15 | AS BUILT | FC/RCA | PC | – | | 0 | AS BUILT | FC/RCA | 06/10/15 |

DIBUJO FECHA
FC/RCA 06/10/15
REVISADO FECHA
PC 06/10/15
APROBADO FECHA
– 06/10/15
APROBADO FECHA
– 06/10/15
ESCALA
N/A (AS SIZE)

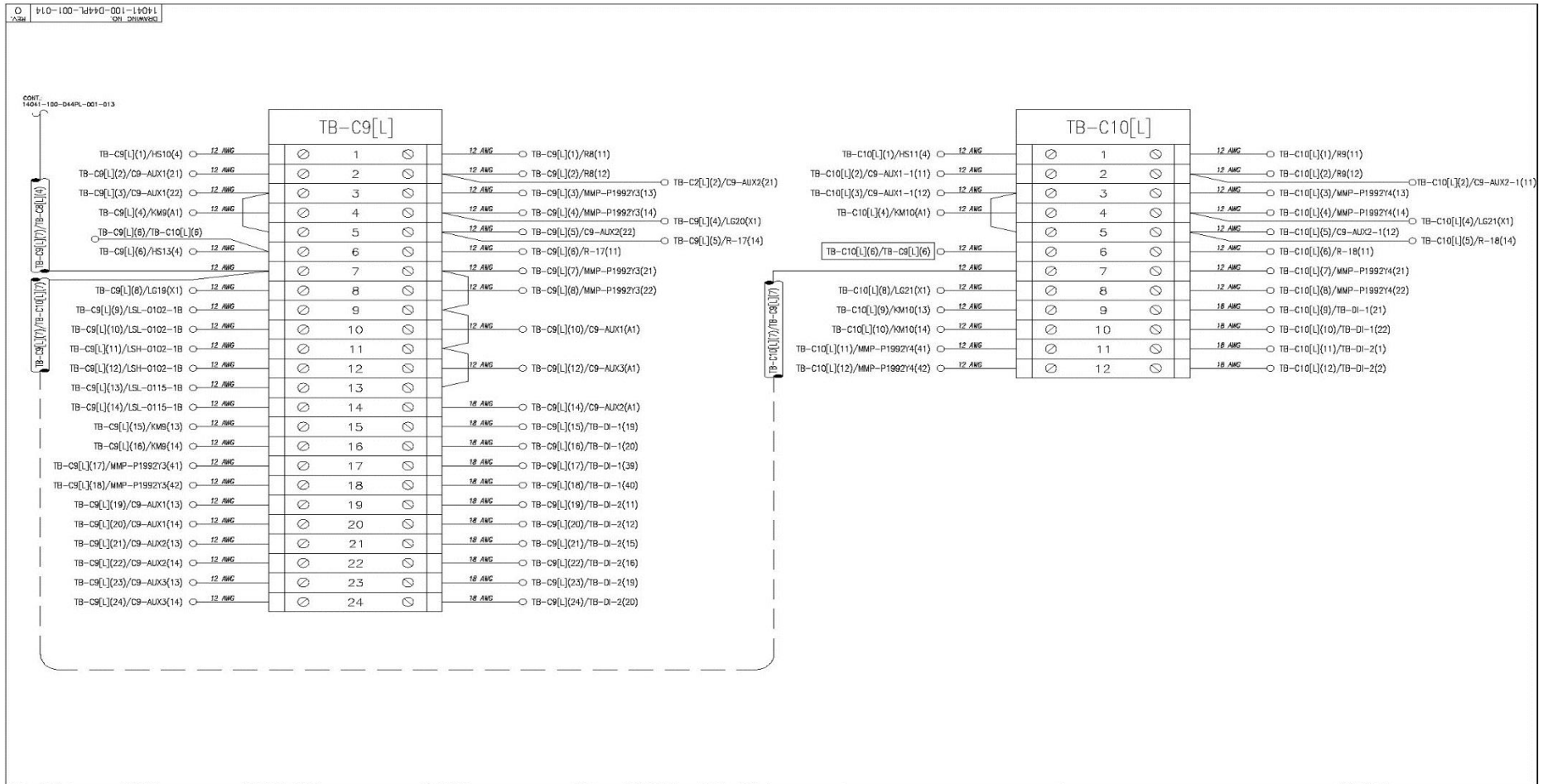
# PLANTA DE TRATAMIENTO AGUAS RESIDUALES

PANEL ELECTRICO (X-10001-PP)
DIAGRAMA DE CONEXIONES
(HOJA 2 DE 4)

PROYECTO No. –

ELABORADO FECHA
FREDDY CARDENAS / RAFAEL CATAGRA 06/10/15
Ing. de Proyectos
REVISADO FECHA
PATRICIO CHAVEZ 06/10/15
Jefe de Ingeniería
APROBADO FECHA

DRAWING NO. 14041-100-D44PL-001-013 REV. 0



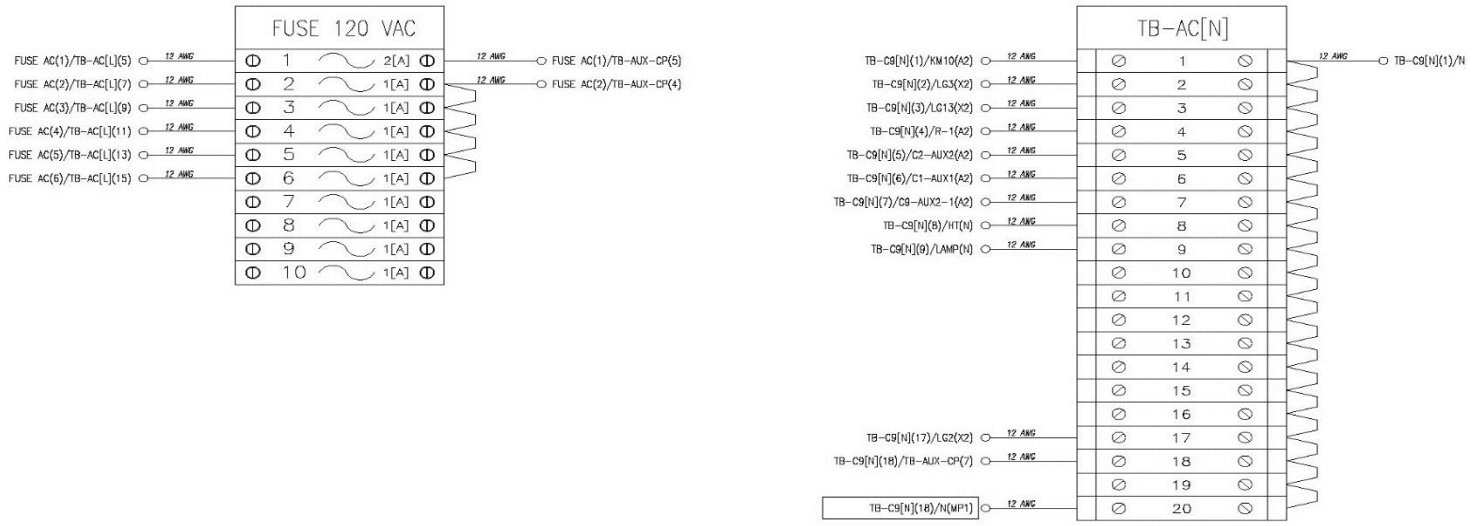

| NO. | FECHA | REVISIONES | POR | REV. | APROB | REFERENCIAS | NO. | REALIZADO PARA | POR | FECHA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 28/05/15 | PARA REVISION | FC/RCA | PC | – | 14041-100-D44PL-001-013 PANEL ELECTRICO (X-10001-PP) DIAGRAMA DE | A | PARA REVISION | FC/RCA | 28/05/15 |
| B | 17/06/15 | PARA REVISION | FC/RCA | PC | – | CONEXIONES (HOJA 2 DE 3) | B | PARA REVISION | FC/RCA | 17/06/15 |
| C | 17/06/15 | PARA APROBACION | FC/RCA | PC | – | | C | PARA APROBACION | FC/RCA | 17/06/15 |
| D | 10/07/15 | PARA CONSTRUCCION | FC/RCA | PC | – | | D | PARA CONSTRUCCION | FC/RCA | 10/07/15 |
| 0 | 06/10/15 | AS BUILT | FC/RCA | PC | – | | 0 | AS BUILT | FC/RCA | 06/10/15 |

DIBUJO FECHA
FC/RCA 06/10/15
REVISADO FECHA
PC 06/10/15
APROBADO FECHA
– 06/10/15
APROBADO FECHA
– 06/10/15
ESCALA
N/A (A3 SIZE)

**PLANTA DE TRATAMIENTO AGUAS RESIDUALES**

PANEL ELECTRICO (X-10001-PP)
DIAGRAMA DE CONEXIONES
(HOJA 3 DE 4)

PROYECTO No. ECUA14041
ELABORADO FECHA
FREDDY CARDENAS / RAFAEL CATAGÑA 06/10/15
Ing. de Proyectos
REVISADO FECHA
PATRICIO CHAVEZ 06/10/15
Jefe de Ingeniería
APROBADO FECHA
DRAWING NO. 14041-100-D44PL-001-014 REV. 0




| NO. | FECHA | REVISIONES | POR | REV. | APROB | REFERENCIAS | NO. | REALIZADO PARA | POR | FECHA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 28/05/15 | PARA REVISION | FC/RCA | PC | – | 14041-100-D44PL-001-013 PANEL ELECTRICO (X-10001-PP) DIAGRAMA DE | A | PARA REVISION | RC/RCA | 28/05/15 |
| B | 17/06/15 | PARA REVISION | FC/RCA | PC | – | CONEXIONES (HOJA 2 DE 3) | B | PARA REVISION | RC/RCA | 17/06/15 |
| C | 17/06/15 | PARA APROBACION | FC/RCA | PC | – | | C | PARA APROBACION | RC/RCA | 17/06/15 |
| D | 10/07/15 | PARA CONSTRUCCION | FC/RCA | PC | – | | D | PARA CONSTRUCCION | RC/RCA | 10/07/15 |
| 0 | 06/10/15 | AS BUILT | FC/RCA | PC | – | | 0 | AS BUILT | RC/RCA | 06/10/15 |

DIBUJO FECHA
FC/RCA 06/10/15
REVISADO FECHA
PC 06/10/15
APROBADO FECHA
– 06/10/15
APROBADO FECHA
– 06/10/15
ESCALA
N/A (A3 SIZE)

PLANTA DE TRATAMIENTO
AGUAS RESIDUALES

PANEL ELECTRICO (X-10001-PP)
DIAGRAMA DE CONEXIONES
(HOJA 4 DE 4)

PROYECTO No.
ECUA14041
ELABORADO FECHA
FREDDY CARDENAS / RAFAEL CATAGRA 06/10/15
Ing. de Proyectos
REVISADO FECHA
PATRICIO CHAVEZ 06/10/15
Jefe de Ingeniería
APROBADO FECHA

DRAWING NO. 14041-100-D44PL-001-015 REV. 0

DRAWING NO. 14041-100-D44PL-001-015 REV. 0

Anexo 13. Pruebas realizadas en fábrica

- **Pruebas punto a punto, pruebas de lazo y de operación**

| Descripción | Resultado | |
|---|---|---|
| **Pruebas punto a punto**<br>*Procedimiento:*<br>Verificar que todos los cables de interconexión de equipos se encuentren identificados y conectados de acuerdo a los planos de referencia, midiendo la continuidad con un multímetro digital. | P | ☑ |
| | F | ☐ |
| | N/A | ☐ |
| **Pruebas de lazo**<br>*Procedimiento:*<br>Simular cada señal de entrada y salida, y comprobar su funcionamiento. | P | ☑ |
| | F | ☐ |
| | N/A | ☐ |
| **Pruebas de OPERACIÓN**<br>*Procedimiento:*<br>Encender cada uno de los equipos y comprobar la operación del sistema, basada en el procedimiento descrito anteriormente y en los manuales del fabricante de cada uno de los equipos. | P | ☑ |
| | F | ☐ |
| | N/A | ☐ |

Está definida por las siguientes letras: P = Aprobó. F = Falló. NA = No aplica.

- **Chequeo general de montaje de equipos**

| Descripción | Resultado | |
|---|---|---|
| **Montaje de tableros e instrumentos**<br>*Procedimiento:*<br>Verificar que los tableros cumplan con las especificaciones de protección NEMA 4X con láminas de acero inoxidable.<br>Verificar que todos los componentes estén firmemente instalados en los tableros y que los mismos no poseen ralladuras, abolladuras u otros defectos.<br>Verificar que todos los instrumentos estén montados a una altura apropiada, segura y libre de vibración. | P | ☑ |
| | F | ☐ |
| | N/A | ☐ |
| **Identificación de cableado interno del tablero y de instrumentos**<br>*Procedimiento:*<br>Verificar que todos los puntos de conexión interna de los tableros y conexión de instrumentos posean identificación. | P | ☑ |
| | F | ☐ |
| | N/A | ☐ |
| **Inspección de Borneras / Terminales de conexión en tableros**<br>*Procedimiento:*<br>Verificar que las borneras de conexión son apropiadas para el trabajo a realizar y se encuentren correctamente identificadas. | P | ☑ |
| | F | ☐ |
| | N/A | ☐ |

Está definida por las siguientes letras: P = Aprobó. F = Falló. NA = No aplica.

- **Verificación del conexionado de tableros**

| Descripción | Resultado | |
|---|---|---|
| **Conexionado**<br>*Procedimiento:*<br>Verificar que los elementos están conectados de acuerdo a los planos aprobados para construcción. | P | ☑ |
| | F | ☐ |
| | N/A | ☐ |
| **Protección eléctrica**<br>*Procedimiento:*<br>Verificar que breakers, guardamotores, contactores y fusibles utilizados están de acuerdo a los planos y que su dimensionamiento es el adecuado. | P | ☑ |
| | F | ☐ |
| | N/A | ☐ |
| **Inspección de terminales**<br>*Procedimiento:*<br>Verificar que todos los cables tengan terminales, y que los mismos tengan el tamaño correcto en función del calibre del cable. | P | ☑ |
| | F | ☐ |
| | N/A | ☐ |
| **Inspección de todas las señales**<br>*Procedimiento:*<br>Verificar que en la construcción de los tableros se ha garantizado una reserva de borneras para futuras expansiones. | P | ☑ |
| | F | ☐ |
| | N/A | ☐ |
| **Entradas/ Salidas Terminales de conexionado**<br>*Procedimiento:*<br>Comprobar de forma aleatoria la firmeza de por lo menos el 25% de todas las conexiones a borneras con el fin de comprobar su correcto ajuste. | P | ☑ |
| | F | ☐ |
| | N/A | ☐ |

Está definida por las siguientes letras: P = Aprobó. F = Falló. NA = No aplica.

- **Pruebas no energizadas para tableros**

| Descripción | Resultado | |
|---|---|---|
| Verificar la operación de botoneras, selectores y demás elementos de bloqueo. | P | ☑ |
| | F | ☐ |
| | N/A | ☐ |
| Chequear continuidad entre los puntos de conexionado del gabinete, de acuerdo a los planos aprobados por el cliente. | P | ☑ |
| | F | ☐ |
| | N/A | ☐ |

Está definida por las siguientes letras: P = Aprobó. F = Falló. NA = No aplica.

- **Pruebas de instalación de tuberías eléctricas**

| Descripción | Resultado | |
|---|---|---|
| **Pruebas punto a punto**<br>*Procedimiento:*<br>Ruteado de tubería eléctrica de acuerdo a la ingeniería de diseño.<br>Soportes de tubería fijos y seguros.<br>Tubería no es peligrosa para el personal, no bloquea vías de acceso.<br>Bordes cortantes corregidos.<br>Ruteo cables en las tuberías correctos.<br>Radio de curvatura correcta.<br>Accesorios de cables instalados y sus extremos sellados.<br>Cables no descansan en bordes filosos. | P | ☑ |
| | F | ☐ |
| | N/A | ☐ |

Está definida por las siguientes letras: P = Aprobó. F = Falló. NA = No aplica.

Anexo 14. Pruebas aprobadas por AWT. SA.

Conocemos el agua a profundidad.

Quito
Fábrica y oficina:
PBX: 02.2.820.780

www.awtsa.com / ventas@awtsa.com

# CERTIFICADO

Yo, JUAN JOSÉ TORRES DURÁN con CI. 1709732919. En calidad de Presidente de la empresa AWT.S.A certifico por medio de la presente que los señores, FREDDY RENATO CÁRDENAS CHÁVEZ con CI.1723703789 y JOSÉ RAFAEL CATAGÑA CARVAJAL con CI.1714353966 realizaron de forma efectiva la automatización, control, diseño, implantación y puesta en marcha de la parte Eléctrica e Instrumentación del proyecto SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES Y NEGRAS EN NPF para la empresa REPSOL ECUADOR BLOQUE 16.

Es todo cuanto puedo informar en honor a la verdad. Los interesados pueden hacer uso del presente documento para los fines pertinentes.

Atentamente,

Ing. Juan José Torres
Presidente
AWT S.A.

juntos por el **MEDIO AMBIENTE**

Usted puede utlizar el reverso de esta hoja para borradores.
Protejamos el medio ambiente.

| | | |
|---|---|---|
| Conocemos el agua a profundidad. | **PLAN DE PRUEBAS FAT (PRUEBAS EN FÁBRICA)** | |
| | **PROYECTO:** SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES Y NEGRAS | |
| | **No.: N/A** | **TAG:** - |
| | **FECHA:** 09/09/2015 | **REV No.:** 0 |

TABLA DE INSPECCIÓN GENERAL: Corresponde a la planilla donde se indica el resultado de las pruebas realizadas. Está definida por las siguientes letras: P = Aprobó. F = Falló. NA = No aplica.

| CHEQUEO GENERAL DEL TABLERO | | | |
|---|---|---|---|
| **ITEM.** | **DESCRIPCIÓN** | **RESULTADO DEL TEST** | |
| 1 | **Estructura del Gabinete**<br>Verificar que los gabinetes cumplan con las especificaciones solicitadas.<br>Verificar que todos los componentes estén firmemente instalados en los gabinetes y que los mismos no poseen ralladuras, abolladuras u otros defectos. | **P** | ✓ |
| | | **F** | |
| | | **N/A** | |
| 2 | **Identificación de Cableado**<br>Verificar que todos los puntos de conexión interna del gabinete posean identificación. | **P** | ✓ |
| | | **F** | |
| | | **N/A** | |
| 3 | **Inspección de Borneras / Terminales de conexión**<br>Verificar que las borneras de conexión son apropiadas para el trabajo a realizar y se encuentren correctamente identificadas. | **P** | ✓ |
| | | **F** | |
| | | **N/A** | |
| 4 | **Reserva (Spare)**<br>Verificar que en la construcción de los gabinetes se ha garantizado una reserva de borneras para futuras expansiones. | **P** | ✓ |
| | | **F** | |
| | | **N/A** | |

| VERIFICACIÓN DEL CONEXIONADO | | | |
|---|---|---|---|
| **ITEM.** | **DESCRIPCIÓN** | **RESULTADO DEL TEST** | |
| 1 | **Conexionado**<br>Verificar que los elementos están conectados de acuerdo a los planos aprobados por el cliente. | **P** | ✓ |
| | | **F** | |
| | | **N/A** | |
| 2 | **Protección eléctrica.**<br>Verificar que los fusibles y/o breakers utilizados están de acuerdo a los planos y que su dimensionamiento es el adecuado. | **P** | ✓ |
| | | **F** | |
| | | **N/A** | |
| 3 | **Inspección de Terminales**<br>Verificar que todos los cables tengan terminales, y que los mismos tengan el tamaño correcto en función del calibre del cable. | **P** | ✓ |
| | | **F** | |
| | | **N/A** | |
| 4 | **Inspección de todas las señales**<br>Verificar que los nombres "TAGs" de los identificadores de los terminales de los cables se encuentren según los planos | **P** | ✓ |
| | | **F** | |
| | | **N/A** | |
| 5 | **I/O Terminales de conexionado**<br>Comprobar de forma aleatoria la firmeza de por lo menos el 25% de todas las conexiones a borneras con el fin de comprobar su correcto ajuste. | **P** | ✓ |
| | | **F** | |
| | | **N/A** | |

| PRUEBAS NO ENERGIZADAS | | | |
|---|---|---|---|
| **ITEM.** | **DESCRIPCIÓN** | **RESULTADO DEL TEST** | |
| 1 | Verificar la operación de botoneras, selectores y demás elementos de bloqueo. | **P** | ✓ |
| | | **F** | |
| | | **N/A** | |

| | PLAN DE PRUEBAS FAT (PRUEBAS EN FÁBRICA) | |
|---|---|---|
| Conocemos el agua a profundidad | **PROYECTO:** SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES Y NEGRAS | |
| | **No.:** N/A | **TAG:** - |
| | **FECHA:** 09/09/2015 | **REV No.:** 0 |

TABLA DE INSPECCIÓN GENERAL: Corresponde a la planilla donde se indica el resultado de las pruebas realizadas. Está definida por las siguientes letras: P = Aprobó. F = Falló. NA = No aplica.

| | | | |
|---|---|---|---|
| 2 | Chequear continuidad entre los puntos de conexionado del gabinete, de acuerdo a los planos aprobados por el cliente. | **P** | ✓ |
| | | **F** | |
| | | **N/A** | |

**PRUEBAS PUNTO A PUNTO, PRUEBAS DE LAZO Y DE OPERACIÓN**

| ITEM. | DESCRIPCIÓN | RESULTADO DEL TEST | |
|---|---|---|---|
| 1 | **Pruebas punto a punto**<br>Verificar que todos los cables de interconexión de equipos se encuentren identificados y conectados de acuerdo a los planos de referencia, midiendo la continuidad con un multímetro digital. | **P** | ✓ |
| | | **F** | |
| | | **N/A** | |
| 2 | **Pruebas de lazo**<br>Simular cada señal de entrada y salida, y comprobar su funcionamiento. | **P** | ✓ |
| | | **F** | |
| | | **N/A** | |
| 3 | **Pruebas de operación**<br>Encender cada uno de los equipos y comprobar la operación del sistema, basada en el procedimiento descrito anteriormente y en los manuales del fabricante de cada uno de los equipos. | **P** | ✓ |
| | | **F** | |
| | | **N/A** | |

**OBSERVACIONES Y NOTAS CORRECTIVAS**

| | REGISTRADO POR | REVISADO POR | APROBADO POR |
|---|---|---|---|
| **NOMBRE** | Edwin Carua | Freddy Cárdenas | Juan José Torres |
| **CARGO** | Supervisor eléctrico | QA/QC eléctrico | Jefe de Ingeniería |
| **FIRMA** | | | |
| **FECHA** | 09/09/2015 | 09/09/2015 | 09/09/2015 |

| | HOJA DE CHEQUEO DE CABLES Y TERMINALES | |
|---|---|---|
| | **PROYECTO:** SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES Y NEGRAS | |
| | **No.:** N/A | **TAG:** - |
| | **FECHA:** 09/09/2015 | **REV No.:** 0 |

| ITEM | DETALLE | RESULTADO | | |
|---|---|---|---|---|
| | | SI | NO | N/A |
| 1. | ADECUADA LONGITUD DE CONDUCTORES | ✓ | | |
| 2. | PREPARACIÓN APROPIADA DE CABLES | ✓ | | |
| 3. | TIPO Y CALIBRE DE TERMINAL CORRECTO | ✓ | | |
| 4. | HERRAMIENTA DE COMPRESIÓN CORRECTA | ✓ | | |
| 5. | CORRECTA IDENTIFICACIÓN PERMANENTE DEL CABLE | ✓ | | |
| 7. | CORRECTO CALIBRE, TIPO, COLOR DE CABLE | ✓ | | |
| 8. | TERMINACIÓN DE CABLE CORRECTA. | ✓ | | |

**OBSERVACIONES**

| | REGISTRADO POR | REVISADO POR | APROBADO POR |
|---|---|---|---|
| **NOMBRE:** | Edwin Carua | Freddy Cárdenas | Juan José Torres |
| **CARGO:** | Supervisor Eléctrico | QA/QC Eléctrico | Jefe de Ingeniería |
| **FIRMA** | | | |
| **FECHA** | 09/09/2015 | 09/09/2015 | 09/09/2015 |

| | INSPECCION DE INSTALACIÓN DE INSTRUMENTOS | |
|---|---|---|
| Conocemos el agua a profundidad. | PROYECTO: SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES Y NEGRAS | |
| | No: N/A | TAG: - |
| | FECHA: 09/09/2015 | REV No: 0 |

Tag de identificación de los instrumentos.

| | | | |
|---|---|---|---|
| PIT-103-1A | PIT-106-1D | LIT-0113-1A | AI-0110-1A |
| PIT-104-1B | PIT-107-1E | AI-0112-1C | PDI-0115-1A |
| PIT-105-1C | FIT-0109-1A | AI-0110-1B | |

| | | Aceptable | Fecha |
|---|---|---|---|
| 1 | Los instrumentos están montados a una altura apropiada | ✓ | 09/09/2015 |
| 2 | Las posiciones del instrumento seguras y libres de vibración | ✓ | 09/09/2015 |
| 3 | Los materiales de tubing usados son adecuados | ✓ | 09/09/2015 |
| 4 | Las bandejas de tubing y soportes están según especificaciones | ✓ | 09/09/2015 |
| 5 | Todo el suministro de aire y tubing de proceso está conectado a partes | ✓ | 09/09/2015 |
| 6 | Todas las tuercas de los accesorios están ajustadas correctamente | ✓ | 09/09/2015 |
| 7 | Adecuadas técnicas son usadas en la instalación del tubing y nítidas en apariencia | ✓ | 09/09/2015 |

Observaciones:

.....

.....

.....

.....

| | REGISTRADO POR | REVISADO POR | APROBADO POR |
|---|---|---|---|
| NOMBRE: | Edwin Carua | Freddy Cárdenas | Juan José Torres |
| CARGO: | Supervisor eléctrico | QA/QC eléctrico | Jefe de Ingeniería |
| FIRMA: | | | |
| FECHA: | 09/09/2015 | 09/09/2015 | 09/09/2015 |

## REVISIÓN DE INSTRUMENTOS POR LAZOS DE CONTROL

Conocemos el agua a profundidad.

PROYECTO: SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES Y NEGRAS

N°: N/A | TAG: -

FECHA: 09/09/2015 | REV No: 0

| ITEM | TAG Nº No. Tag | Sistema / Subsistema | Lazo | P & ID | Rango de Punto Seteado | Unidades | Chequeos Completos | | Observaciones |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | Revisión Instalación | Revisión Calibración | |
| 1 | PIT-0113-1A | HOMOGENIZACIÓN | ABIERTO | 100-082-001-1-2 | 25 | PSI | OK | OK | EQUIPO NUEVO |
| 2 | PIT-0104-1B | BIODIGESTOR | ABIERTO | 100-082-001-1-2 | >= 4.5 | PSI | OK | OK | EQUIPO NUEVO |
| 3 | PIT-0105-1C | AIREACIÓN | ABIERTO | 100-082-001-1-2 | >= 4.5 | PSI | OK | OK | EQUIPO NUEVO |
| 4 | PIT-0106-1D | RETORNO LODOS | ABIERTO | 100-082-001-1-2 | >= 55 | PSI | OK | OK | EQUIPO NUEVO |
| 5 | PIT-0107-1E | FILTRACIÓN | ABIERTO | 100-082-001-1-2 | >= 65 | PSI | OK | OK | EQUIPO NUEVO |
| 6 | LIT-0113-1A | FILTRACIÓN | ABIERTO | 100-082-001-1-2 | >=1.5 | Mts | OK | OK | EQUIPO NUEVO |
| 7 | AI-0112-1C | FILTRACIÓN | ABIERTO | 100-082-001-1-2 | >1.5 ALTA<br><0.3 BAJA | Ppm | OK | OK | EQUIPO NUEVO |
| 8 | AI-0111-1B | AIREACIÓN | ABIERTO | 100-082-001-1-2 | >8 ALTA<br>< 2 BAJA | Ppm | OK | OK | EQUIPO NUEVO |
| 9 | AI-0110-1A | AIREACIÓN | ABIERTO | 100-082-001-1-2 | >9 ALTA<br>< 5 BAJA | NA | OK | OK | EQUIPO NUEVO |
| 10 | FIT-0109-1A | HOMOGENIZACIÓN | ABIERTO | 100-082-001-1-2 | >=30 gl/min | PSI | OK | OK | EQUIPO NUEVO |

Observaciones

| | REGISTRADO POR | REVISADO POR | APROBADO POR |
|---|---|---|---|
| NOMBRE: | Edwin Carua | Freddy Cárdenas | Juan José Torres |
| CARGO: | Supervisor eléctrico | QA/QC eléctrico | Jefe de Ingeniería |
| FIRMA: | | | |
| FECHA: | 09/09/2015 | 09/09/2015 | 09/09/2015 |