

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

*Trabajo de titulación previo a
la obtención del título de
Ingeniero Mecatrónico*

PROYECTO TÉCNICO:

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y
CONTROL DE LA CONCENTRACIÓN DE MANGANESO EN AGUA CRUDA EN
LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE TIXÁN - ETAPA EP”**

AUTORES:

EDUARDO ANDRÉS ESPINOZA ORTEGA

JAIME ALEJANDRO ABRIL ABRIL

TUTOR:

ING. EDY LEONARDO AYALA CRUZ, MSc.

CUENCA - ECUADOR

2020

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Eduardo Andrés Espinoza Ortega con documento de identificación N°1804905402 y Jaime Alejandro Abril Abril con documento de identificación N° 0106419542, manifestamos 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: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE LA CONCENTRACIÓN DE MANGANESO EN AGUA CRUDA EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE TIXÁN - ETAPA EP”**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniero Mecatrónico*, 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, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, septiembre del 2020



Eduardo Andrés Espinoza Ortega

C.I. 1804905402



Jaime Alejandro Abril Abril

C.I. 0106419542

CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE LA CONCENTRACIÓN DE MANGANESO EN AGUA CRUDA EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE TIXÁN - ETAPA EP”**, realizado por Eduardo Andrés Espinoza Ortega y Jaime Alejandro Abril Abril, obteniendo el *Proyecto Técnico*, que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, septiembre del 2020



Ing. Edy Leonardo Ayala Cruz, MSc.

C.I. 0105627277

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Eduardo Andrés Espinoza Ortega con documento de identificación N° 1804905402 y Jaime Alejandro Abril Abril con documento de identificación N° 0106419542, autores del trabajo de titulación: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE LA CONCENTRACIÓN DE MANGANESO EN AGUA CRUDA EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE TIXÁN - ETAPA EP”**, certificamos que el total contenido del *Proyecto Técnico*, es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, septiembre del 2020



Eduardo Andrés Espinoza Ortega

C.I. 1804905402



Jaime Alejandro Abril Abril

C.I. 0106419542

CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE LA CONCENTRACIÓN DE MANGANESO EN AGUA CRUDA EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE TIXÁN - ETAPA EP”**, realizado por Eduardo Andrés Espinoza Ortega y Jaime Alejandro Abril Abril, obteniendo el *Proyecto Técnico*, que cumple con todos los requisitos estipulados por la Empresa.

Cuenca, septiembre del 2020



Ing. Cristián Beltrán Carreño.

C.I. 0104375118

TUTOR EXTERNO

RESUMEN

En este documento se presenta de forma breve un recuento histórico de los procesos industriales y el avance tecnológico que ha sucedido en cuanto a la producción de agua segura para el consumo humano, continuando con la descripción de las enfermedades y afecciones más comunes que se pueden producir debido al consumo o contacto con agua no segura. Se describen los minerales que pueden encontrarse en el agua cruda debido a la composición de la fuente hídrica y los límites de concentración sugeridos y/o permisibles para estos, ya que en algunos casos una concentración alta puede derivar en afecciones a la salud y en otros alteran las propiedades organolépticas del agua provocando el rechazo del consumidor. Mas adelante se exploran algunos procesos para la remoción y control de la presencia de manganeso en el agua y se describe la planta de tratamiento de agua potable donde el proyecto se implementó.

Se enumera la normativa, requerimientos funcionales y de diseño que se utilizaron para el desarrollo del proyecto, el diseño de las comunicaciones y control, de los sistemas que conforman el proceso, los equipos y materiales utilizados, así como los diagramas de funcionamiento, diagramas P&ID, el diseño y la estructuración de la programación de los autómatas.

Finalmente se presentan los resultados obtenidos en un periodo de dos meses de funcionamiento junto al análisis de estos, tomando en cuenta las limitaciones y cambios que se produjeron debido a las condiciones atípicas en las que se desarrolló el proyecto. Algunas recomendaciones para evitar el malfuncionamiento y para el desarrollo de trabajos futuros también son expresadas.

ABSTRACT

This document presents in a brief way an historical summary about industrial processes and the technological advance on the water purification field for human consumption, after, it describes the more common affections and diseases due to the intake of non-purified water. Also, it describes the minerals present in raw water, depending on the water source and the suggested/allowed concentration limits for each. In some cases, a high concentration can be derivate on healthy affections or disturbing of the organoleptic properties of the water leading on rejection from the consumer. Then it explores different kinds of processes for manganese removal and control in water treatment plants, also describing the plant where the implementation was accomplished.

Then, is listed the normative, functional and design requirements for the project development, the control and communications design, subsystems, equipment and materials used, as the functioning and P&ID diagrams and the programming of the controllers.

Finally, the obtained results are shown in a two months period of supervised functioning with its own analysis. Because of the atypical conditions under the project was developed there were some changes and limitations that we had to take care of. Some recommendations to avoid the malfunctioning of the system and development of future studies are also expressed.

DEDICATORIA

Principalmente quiero dedicar este logro a mi madre quien ha sido el pilar fundamental para la consecución de todos mis logros a nivel personal, quien con su apoyo incondicional y amor materno supo guiarme y formarme desde mis primeros pasos, inculcándome los mejores principios y las mejores lecciones.

A mis padres, si en plural, al que me dio la vida y al que llevo durante la vida y me acompaño en estos años que, sin duda con todo el amor y empeño ha estado a mi lado con su conocimiento y apoyo.

A mis hermanos que siempre estuvieron presentes, y a mi pequeña hermana con quien aprendí a enseñar y aprender sobre todos los temas desde matemáticas hasta el valor de la paciencia.

A mi pareja y mejor amiga quien me ha apoyado incondicionalmente en todo este proceso con el fin de crecer juntos y ser mejores seres humanos y profesionales.

A mis familiares y amigos que, sin duda, aunque son pocos siempre están presentes, y por supuesto a cada docente, administrativo y autoridad de la institución que desde un principio me abrieron las puertas como estudiante y representante estudiantil apoyando mi crecimiento personal, académico y profesional.

Eduardo A. Espinoza Ortega

El presente trabajo lo dedico principalmente a Dios que me ha provisto de la inspiración y la fuerza para alcanzar esto como uno de los deseos más grandes.

A mis padres por su amor, sacrificio y apoyo incondicional que me han brindado en todos estos años, gracias a ustedes he podido llegar a este momento; con sus opiniones, paciencia y desvelos, mostrándome y haciéndome sentir privilegiado de ser su hijo.

A mis hermanos, que siempre estuvieron presentes, acompañándome y dándome el apoyo moral para seguir adelante, enseñándome que el rendirme no es opción.

A todas las personas que colaboraron para que este trabajo concluya exitosamente, brindando su conocimiento, ayuda y guía. Que confiaron y abrieron sus puertas mostrando su pasión por ayudar en el desarrollo personal y profesional de nosotros los jóvenes.

Alejandro Abril A.

AGRADECIMIENTO

En primera instancia agradezco a Dios por darme la serenidad, la sabiduría y la capacidad para tomar las decisiones adecuadas en cada etapa de mi formación permitiéndome lograr mis objetivos, incluyendo el presente trabajo.

A mis padres que cada día me brindaron su confianza y apoyo incondicional, dándome las lecciones más grandes de mi vida sobre la honestidad, el trabajo duro y la perseverancia, que a pesar de cualquier contratiempo que pueda ocurrir en el camino siempre debo mantenerme firme en mis convicciones, enseñándome a ser mejor cada día como persona y profesional siguiendo su mejor ejemplo.

A mis hermanos de los cuales aprendemos y enseñamos día a día, donde el cariño y apoyo mutuo es incondicional y aunque no estemos presentes físicamente los llevamos con nosotros siempre. A mis familiares quienes se han preocupado y me han apoyado durante este tiempo con la finalidad de cumplir mis objetivos personales y profesionales.

A mi compañera de camino, como amiga y pareja a pesar de tener formaciones diferentes aprendemos que el trabajo en equipo hace el trabajo más fácil y nos enseña que la diferencias pueden ser positivas.

A todos los docentes, laboratoristas y personal de esta institución que desde el primer día pusieron todo su empeño para aportar a nuestra formación académica, buscando formar no solo profesionales, si no, también seres humanos que es donde considero hemos marcado la diferencia. A los miembros de la empresa pública y privada que nos abrieron sus puertas con el fin de aprender en conjunto y poder lograr el presente trabajo fortaleciendo la relación entre la academia y la industria.

Y a mis amigos y compañeros, que sin ellos la universidad no hubiera sido lo que fue, a pesar de todo lo logramos y estoy seguro de que seguiremos creciendo y aprendiendo en este camino llamado vida.

Gracias por lo aprendido, por lo vivido y por lo bailado.

Eduardo A. Espinoza Ortega.

Agradezco a Dios por bendecirme y protegerme durante todo el proceso, por su soberanía y gracia que ha permitido concluir con este trabajo. Por darme la fe y la confianza en Él para saber que lo que he logrado ha sido por su voluntad.

A mis padres que día a día se han preocupado y me han alentado para finalizar este proyecto, enseñándome que la perseverancia trae frutos, pero que a veces es mejor descansar para renovar las ideas. Por el amor y comprensión q siempre me ha dado.

A mis hermanos que con juegos y discusiones me han enseñado a buscar soluciones planteando el problema desde otro punto de vista, que a veces solamente pueden dar las personas que no piensan igual a uno mismo.

A todos los docentes que han participado en mi formación académica, por compartir su conocimiento y desarrollar en mí el pensamiento crítico para solucionar los problemas que puedan suceder, proveyéndome de herramientas que muchas veces han sido adquiridas empíricamente gracias a su arduo trabajo.

A mis amigos y compañeros que acompañaron en todo este proceso, ayudando y fortaleciendo los conocimientos que obtuvimos en este tiempo, además de su compañía y apoyo animando para superar todos los desafíos que surgieron durante todo este proceso.

Alejandro Abril A.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	viii
ÍNDICE GENERAL	x
LISTA DE FIGURAS	xiv
LISTA DE TABLAS	xvii
LISTA DE TÉRMINOS Y ABREVIACIONES	xviii
LINEAMIENTOS GENERALES	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. PROBLEMA	3
1.2.1. Antecedentes	3
1.2.2. Importancia y alcances	4
1.2.3. Delimitación	6
1.3. OBJETIVOS	8
1.3.1. Objetivo general	8
1.3.2. Objetivos Específicos	8
FUNDAMENTOS TEÓRICOS	10
2.1. Historia de la Potabilización de Agua	10
2.2. Enfermedades resultantes del consumo de agua cruda	12
2.2.1. Arsenicosis	13
2.2.2. Campilobacteriosis	13
2.2.3. Cólera	13
2.2.4. Toxinas Cianobacterianas	13
2.2.5. Diarrea	14
2.2.6. Fluorosis	14
2.2.7. Hepatitis	14
2.2.8. Envenenamiento por plomo	15
2.2.9. Leptospirosis	15
2.2.10. Metahemoglobinemia	15
2.2.11. Esquistosomiasis	15
2.2.12. Anemia	16
2.3. Minerales en el Agua Cruda de altura	16

2.3.1.	Manganeso.....	17
2.3.2.	Aluminio.....	17
2.3.3.	Arsénico.....	18
2.3.4.	Boro	18
2.3.5.	Cadmio	18
2.3.6.	Cloruros	18
2.3.7.	Cloro	19
2.3.8.	Cromo	19
2.3.9.	Cobre	19
2.3.10.	Cianuro.....	20
2.3.11.	Fluoruro	20
2.3.12.	Calcio	20
2.3.13.	Iodo	20
2.3.14.	Hierro	21
2.3.15.	Plomo	21
2.3.16.	Mercurio.....	21
2.3.17.	Molibdeno	22
2.3.18.	Níquel.....	22
2.3.19.	Nitrógeno	22
2.3.20.	Selenio	23
2.3.21.	Plata	23
2.3.22.	Sodio	23
2.3.23.	Azufre	24
2.3.24.	Uranio	24
2.3.25.	Zinc	24
2.4.	Procesos de Transferencia en la Potabilización de Agua.....	25
2.4.1.	Transferencia de sólidos	25
2.4.2.	Transferencia de iones	25
2.4.3.	Transferencia de gases.....	26
2.4.4.	Transferencia molecular o de nutrientes.....	26
2.4.5.	Procesos adicionales	27
2.5.	Plantas de tratamiento de Agua	27
2.5.1.	Plantas de filtración lenta	28
2.5.2.	Plantas de filtración rápida	29
2.6.	Eliminación de Manganeso.....	32
2.6.1.	Oxidación de Manganeso utilizando Permanganato de Potasio.....	33

2.6.2.	Oxidación Experimental de Manganeso sin reactivo a través de una cama fija.....	34
2.7.	Descripción de la planta de tratamiento de agua potable Tixán II.....	35
2.7.1.	Pre-oxidación.....	36
2.7.2.	Mezcla rápida hidráulica	37
2.7.3.	Floculadores hidráulicos de flujo vertical	38
2.7.4.	Decantación	38
2.7.5.	Filtración.....	39
2.7.6.	Desinfección	40
2.7.7.	Almacenamiento.....	40
MARCO METODOLÓGICO		42
3.1.	Normativa y pruebas para componentes, materiales e instalaciones industriales.....	42
3.2.	Requerimientos de funcionamiento	45
3.2.1.	Requerimientos y Especificaciones del Proceso de Control de Manganeso..	45
3.2.2.	Requerimientos y Especificaciones de Dosificación de KMnO_4	47
3.3.	Requerimientos y Especificaciones del Diseño	49
3.3.1.	Tablero CCM-Mn.....	49
3.3.2.	Tablero CCM-Do.....	50
3.3.3.	Tablero TC-Mn.....	51
3.3.4.	Tablero TC-Do	53
3.3.5.	Requerimientos particulares	55
DISEÑO DEL SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE LA CONCENTRACION DE MANGANESO		61
4.1.	Equipos y Materiales	61
4.1.1.	Equipos de Control y Visualización	63
4.1.2.	Equipos de red	67
4.1.3.	Instrumentos y Actuadores	68
4.1.4.	Motores y Bombas.....	74
4.1.5.	Equipos de Protección y Control Eléctrico	76
4.1.6.	Materiales varios.....	81
4.2.	Propuesta de solución.	82
4.2.1.	Diagrama de Funcionamiento.....	83
4.2.2.	Diagramas y funcionamiento por etapas	85
4.2.3.	Diagramas de Tuberías e Instrumentación	94
4.2.4.	Diseño de Comunicación y Control	95
4.2.5.	Diseño del equipo de dosificación de KMnO_4	106

4.2.6.	Diseño del Proceso de Dosificación Automático	109
4.2.7.	Programación Controladores Lógicos	112
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		123
5.1.	Operación en modo Automático del Sistema	123
5.1.1.	Pruebas de Aceptación en Sitio (SAT).....	123
5.1.2.	Registro de Datos	124
5.2.	Mediciones de Manganeso.....	126
5.2.1.	Muestreo	127
5.2.2.	Tablas y Resultados	128
5.3.	Recolección y análisis de resultados.....	131
5.4.	Cronograma	133
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIÓN.....		134
6.1.	Conclusiones	134
6.2.	Recomendaciones	135
BIBLIOGRAFÍA		137
APÉNDICE (Anexos)		141

LISTA DE FIGURAS

Ilustración 1.	Ubicación en el mapa de la PTAP Tixán.	7
Ilustración 2.	Mapa de distribución parroquial del cantón Cuenca.....	8
Ilustración 3.	Sedimentos fluviales	16
Ilustración 4.	Tubería de dosificación de Permanganato de Potasio en la PTAP Tixán II.....	36
Ilustración 5.	Canal de mezcla rápida en la PTAP Tixán II.....	37
Ilustración 6.	Floculadores hidráulicos de flujo vertical de la PTAP Tixán II.....	38
Ilustración 7.	Decantadores de placas planas paralelas inclinadas de la PTAP Tixán II.....	38
Ilustración 8.	Filtros de la PTAP Tixán II.....	39
Ilustración 9.	Cámara de contacto de cloro de la PTAP Tixán II.....	40
Ilustración 10.	Tanques de remoción de Manganeseo PTAP Tixán ETAPA EP.....	46
Ilustración 11.	Tubería proveniente de bombas de dosificación de $KMnO_4$	47
Ilustración 12.	Autómata Programable S7-1500 del tablero de control Tc-Mn.....	63
Ilustración 13.	Módulo de comunicación Profibus DP del tablero TC-Mn.....	64
Ilustración 14.	Módulos de entradas digitales conectado al PLC del tablero TC-Mn.....	64
Ilustración 15.	Módulo de salidas digitales conectado al PLC del tablero TC-.....	65
Ilustración 16.	Acoplador Profibus DP/PA	65
Ilustración 17.	Variadores de velocidad del tablero TC-Do.....	66
Ilustración 18.	Pantalla HMI SIMATIC KTP1200 Basic pn del tablero de control TC-Do.....	67
Ilustración 19.	Paneles de operación IOP-2 correspondientes al proceso de dosificación.....	67
Ilustración 20.	Switch Siemens SCALANCE X204-2 correspondiente al tablero de control TC-Mn.....	68
Ilustración 21.	Actuador Auma 01.2 correspondiente a la salida al módulo I.....	69
Ilustración 22.	Pantalla Medidor de caudal Prosonic Flow 93c correspondiente al módulo II de la PTAP.....	70
Ilustración 23.	Interruptor de nivel Kobold tipo NAB tanque este.....	71
Ilustración 24.	Sensor de nivel Prosonic Flow 93c correspondiente al tanque este..	71
Ilustración 25.	Unidades de aireación.....	72
Ilustración 26.	Analizador de procesos Metrohm 2035.....	72
Ilustración 27.	Interruptor de nivel bajo tipo paletas rotativas en la tolva de permanganato de potasio granulado.....	73
Ilustración 28.	Interruptor de nivel derivativo en la cuba de solución de permanganato de potasio.....	73

Ilustración 29.	Motor correspondiente a la dosificación de permanganato de potasio en solución.....	74
Ilustración 30.	Motor de agitación en la cuba de permanganato de potasio en solución.....	75
Ilustración 31.	Bombas centrifugas correspondientes a la etapa de dosificación.	76
Ilustración 32.	Supervisor de voltaje electrónico Siemens 3UG4615-1CR20	76
Ilustración 33.	Monitor de línea Monofásico ICM – 491.....	77
Ilustración 34.	Fuente de alimentación estabilizada Siemens 6EP1333-4BA00.....	77
Ilustración 35.	SITOP UPS500S EQUIPO BASICO 5 KWS 6EP1933-2EC51	78
Ilustración 36.	Interruptor termomagnético automático Siemens serie 5SL	78
Ilustración 37.	Interruptor termomagnético automático Siemens serie 3RV2	79
Ilustración 38.	Contacto Siemens serie 3RT2	79
Ilustración 39.	Relé de sobrecarga térmica Siemens serie 3RU2.....	80
Ilustración 40.	Relé de propósito general SCHRACK.....	80
Ilustración 41.	Tablero de Fuerza CCM-Do.....	81
Ilustración 42.	Tablero de control TC-Do.	82
Ilustración 43.	Diagrama de bloques de las etapas del proceso.	83
Ilustración 44.	Acciones principales para efectuarse.	83
Ilustración 45.	Diagrama funcional del proceso total de Control de manganeso.....	84
Ilustración 46.	Diagrama funcional del proceso separado en etapas.....	85
Ilustración 47.	Módulos de entradas y salidas en el PLC s71200 del tablero TC-Mn.....	96
Ilustración 48.	Módulos de entradas y salidas en el PLC s71200 del tablero TC-Do.....	99
Ilustración 49.	Configuración red Profibus DP correspondiente al tablero de control TC-Mn.....	103
Ilustración 50.	Configuración red Profibus PA correspondiente al tablero de control TC-Mn.....	104
Ilustración 51.	Configuración red Profinet correspondiente al tablero de control TC-Mn.....	104
Ilustración 52.	Configuración red Profibus correspondiente al tablero de control TC-Do.....	106
Ilustración 53.	Configuración red Profinet correspondiente al tablero de control TC-Do.....	106
Ilustración 54.	Sistema de dosificación modelado en software.....	109
Ilustración 55.	Gráfica de Velocidad [RPM] vs Dosificación [mg/s] en el Sistema de Dosificación.....	110
Ilustración 56.	Curva del Sistema de Dosificación Modo Automático.....	111
Ilustración 57.	Gráfico de Tiempos ON y OFF de Dosificación por Índices.....	111
Ilustración 58.	Bloques de Programa del PLC TC-Mn	113

Ilustración 59.	Bloques de Datos PLC TC-Mn	114
Ilustración 60.	Estructura del Programa del PLC TC-Mn.....	115
Ilustración 61.	Pantalla principal HMI TC-Mn.	116
Ilustración 62.	Estructura de Pantallas HMI TC-Mn.	117
Ilustración 63.	Bloques de Programa del PLC TC-Do.....	118
Ilustración 64.	Bloques de Datos PLC TC-Do.....	119
Ilustración 65.	Estructura del Programa del PLC TC-Do.	120
Ilustración 66.	Estructura de Pantallas HMI TC-Do	122
Ilustración 67.	Caudales de ingreso durante el periodo 25-06-2020 a 28-07-2020	125
Ilustración 68.	Caudales de ingreso durante el periodo 31-07-2020 a 24-08-2020	125
Ilustración 69.	Niveles en los tanque Este y Oeste durante el periodo 25-06-2020 a 28-07-2020.....	126
Ilustración 70.	Niveles en los tanque Este y Oeste durante el periodo 31-07-2020 a 24-08-2020.....	126
Ilustración 71.	Puntos de muestro para medición de manganeso.....	128
Ilustración 72.	Grafica de concentración de manganeso medidos en la edificación antigua de la PTAP Tixán.....	130
Ilustración 73.	Grafica de concentración de manganeso medidos en la edificación nueva de la PTAP Tixán.....	131
Ilustración 74.	Cronograma de desarrollo del proyecto	133

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Calidad del agua para tratamiento por filtración lenta	29
Tabla 2.	Límites de calidad de agua para tratamiento mediante filtración rápida completa	31
Tabla 3.	Límites de calidad de agua para plantas de filtración directa	32
Tabla 4.	Parámetros de calidad importantes para la filtración directa.	32
Tabla 5.	Dimensiones de las reservas R3, R4 y R5 en el interior de la PTAP.....	41
Tabla 6.	Componentes del Tablero de CCM – Mn	49
Tabla 7.	Componentes del Tablero de CCM – Do	50
Tabla 8.	Componentes del Tablero de TC – Mn	52
Tabla 9.	Componentes del Tablero de TC – Do.....	53
Tabla 10.	Características mínimas para el gabinete metálico.....	55
Tabla 11.	Especificaciones mínimas para la unidad de potencia ininterrumpible AC/AC.....	56
Tabla 12.	Especificaciones mínimas para la unidad de potencia ininterrumpible DC/DC.....	57
Tabla 13.	Características mínimas para el CPU de 150Kbytes del PLC	57
Tabla 14.	Características mínimas para el módulo de entradas digitales a 24 Vdc..	59
Tabla 15.	Características mínimas para el módulo de salidas digitales a relé 250 Vac.....	59
Tabla 16.	Especificaciones mínimas para el panel HMI	60
Tabla 17.	Listado de Equipos y Materiales utilizados en la propuesta.....	61
Tabla 18.	Detalle de los dispositivos de campo correspondientes a las etapas funcionales.....	85
Tabla 19.	Detalle Elementos del Diagrama P&ID del Tablero TC-Mn (anexo 1)...	95
Tabla 20.	Detalle Elementos del Diagrama P&ID del Tablero TC-Do (anexo 2)....	95
Tabla 21.	Detalle de entradas y salidas en el PLC s7-1200 del tablero TC-Mn.....	96
Tabla 22.	Detalle de entradas y salidas en el PLC s7-1200 del tablero TC-do	99
Tabla 23.	Detalle de dispositivos de la Red Profibus DP del Tablero TC-Mn.....	102
Tabla 24.	Detalle de dispositivos de la Red Profibus PA del Tablero TC-Mn.....	104
Tabla 25.	Detalle de dispositivos de la Red Profibus DP del Tablero TC-Do	105
Tabla 26.	Resultados de Pruebas de Aceptación de Funcionamiento en Sitio del Tablero Tc-Mn.....	123
Tabla 27.	Resultados de Pruebas de Aceptación de Funcionamiento en Sitio del Tablero Tc-Do.	124
Tabla 28.	Valores medidos de concentración de manganeso y cantidades de KMnO ₄ dosificado en la entrada antigua	129
Tabla 29.	Valores medidos de concentración de manganeso y cantidades de KMnO ₄ dosificado en la entrada nueva.....	130

LISTA DE TÉRMINOS Y ABREVIACIONES

PTAP: Planta de Tratamiento de Agua Potable.

Planta de Tratamiento de Agua Potable: Sistema o instalación diseñada para tratar agua proveniente de cualquier fuente hídrica con la finalidad de que pueda ser consumida por el ser humano sin que está presente un riesgo para su salud.

Calidad: Adecuación de un producto o servicio a las características especificadas.

Sistema: Conjunto de cosas que relacionadas entre sí ordenadamente contribuyen a determinado objeto.

Procesos industriales: Actividades que se llevan a cabo para transformar materias primas y convertirlas en diferentes clases de productos.

Instrumento: Objeto fabricado, relativamente sencillo, con el que se puede realizar una actividad.

Monitorear: Observar mediante aparatos especiales el curso de uno o varios parámetros fisiológicos o de otra naturaleza para detectar posibles anomalías.

Control: Regulación, manual o automática, sobre un sistema.

Transductor: Dispositivo que transforma el efecto de una causa física, como la presión, la temperatura, la dilatación, la humedad, etc., en otro tipo de señal, normalmente eléctrica.

Sensor: Dispositivo que detecta una determinada acción externa, temperatura, presión, etc., y la transmite adecuadamente.

Potable: Que se puede beber.

Sedimento: Materia que, habiendo estado suspensa en un líquido, se posa en el fondo por su mayor gravedad.

Control de Calidad: Consiste en la implantación de programas, mecanismos, herramientas y/o técnicas en una empresa para la mejora de la calidad de sus productos, servicios y productividad.

Muestreo: Acción de escoger muestras representativas de la calidad o condiciones medias de un todo.

Manganeso: Elemento químico metálico, de núm. atóm. 25, de color y brillo acerados, quebradizo, pesado y muy refractario, que se usa, aleado con el hierro, para la fabricación de acero. (Símb. Mn).

Permanganato de Potasio: Es un compuesto químico formado por iones de potasio (K^+) y permanganato (MnO_4^-). ($KMnO_4$).

Dosificar: Graduar la cantidad o porción de algunas cosas.

Oxidar: Dicho del oxígeno o de otro agente oxidante: Producir óxido al reaccionar con una sustancia.

Filtro: Aparato dispuesto para depurar el fluido que lo atraviesa.

Mineral: Sustancia inorgánica que se halla en la superficie o en las diversas capas de la corteza terrestre.

OMS: Organización Mundial de la Salud.

Concentración: Magnitud que expresa la cantidad de una sustancia por unidad de volumen, y cuya unidad en el sistema

Turbiedad: Característica de mezclado o alterado por algo que oscurece o quita la claridad natural o transparencia.

Caudal: Cantidad de agua que mana o corre.

Hidráulico: Que se mueve por medio del agua o de otro fluido.

M.S.N.M.: Metros Sobre el Nivel del Mar.

Normativa: Conjunto de normas aplicables a una determinada materia o actividad.

Pruebas FAT: Pruebas de Aceptación de Fabrica (Factory Acceptance Testing).

Pruebas de Aceptación de Fabrica: Conjunto de pruebas que se realizarán en el sitio del proveedor.

Pruebas SAT: Pruebas de Aceptación en Sitio (Site Acceptance Testing).

Pruebas de Aceptación en Sitio: Conjunto de pruebas que se realizarán en el sitio del de implementación.

NEC: Norma Ecuatoriana de Construcción.

IEEE: Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (Institute of Electrical and Electronics Engineers).

ANSI: Instituto Nacional Estadounidense de Estándares (American National Standards Institute).

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

IEC: Comisión Electrotécnica Internacional (International Electrotechnical Commission).

ICS: Estándar de Control Industrial (Industrial Control Standards).

ASTM: Asociación Americana de Ensayo de Materiales (American Society of Testing Materials).

PLC: Controlador Lógico Programable (Programmable Logic Controller).

HMI: Interfaz Humano Maquina (Human-Machine Interface).

Filosofía de Control: Conjunto de decisiones basadas en conceptos que permiten alcanzar de una forma específica objetivos previamente definidos

UPS: Sistema de Alimentación Ininterrumpida (Uninterruptible Power Supply).

Bus de Campo Industrial: Sistema de transmisión de información (datos) que simplifica enormemente la instalación y operación de máquinas y equipamientos industriales utilizados en procesos de producción.

Profinet: Estándar abierto de Ethernet Industrial de la asociación PROFIBUS Internacional (PI) según IEC 61784-2 y uno de los estándares de comunicación más utilizados en redes de automatización.

Profibus: Estándar internacional de bus de campo abierto con un amplio rango de aplicaciones en la automatización de procesos y fabricación. La independencia del fabricante y su carácter de bus abierto quedan garantizadas mediante la normativa internacional IEC 61158.

Modbus: Protocolo de comunicaciones situado en los niveles 1, 2 y 7 del Modelo OSI, basado en la arquitectura maestro/esclavo (RTU) o cliente/servidor (TCP/IP), diseñado en 1979 por Modicon para su gama de controladores lógicos programables (PLCs).

SCADA: Supervisión, Control y Adquisición de Datos (Supervisory Control and Data Acquisition).

P&ID: Diagramas de Tuberías e Instrumentación (Piping & Instrumentation Diagrams).

Densidad: Magnitud que expresa la relación entre la masa y el volumen de un cuerpo, y cuya unidad en el sistema internacional es el kilogramo por metro cúbico (kg/m^3).

Coefficiente: Expresión numérica de una propiedad o característica de un cuerpo, que generalmente se presenta como una relación entre dos magnitudes.

CAPÍTULO 1.

LINEAMIENTOS GENERALES

1.1. INTRODUCCIÓN

Los procesos industriales poseen parámetros que deben mantenerse dentro de rangos específicos para que el producto sea aceptable. La capacidad del sistema para mantener estos parámetros dentro de sus rangos determina la calidad final del producto. El sistema debe ser capaz de actuar de manera inmediata y precisa manteniendo los rangos de operación ante perturbaciones que pueden o no suceder de manera espontánea. Procesos industriales dependen de decenas o cientos de personas que se encuentran monitoreando, activando, desactivando, cerrando o abriendo actuadores con el objetivo de estabilizar las variables del sistema a lo largo del proceso.

Las técnicas y facilidades para controlar un proceso han tenido un desarrollo y evolución a lo largo de la historia industrial, inicialmente cada componente del sistema tenía a una persona que se encargaba de controlarlo de acuerdo con el avance del proceso, en esos momentos, una desincronización del sistema se producía con cierta facilidad debido a que en instantes el ritmo podía cambiar o los operarios no se comunicaban entre ellos para coordinar sus acciones. Según como avanzaba la tecnología varios instrumentos y actuadores llegaron a poder controlarse a distancia, conformando tableros de control grandes donde un operario manejaba una parte importante del proceso, la industria avanzó, disminuyendo las desincronizaciones, aumentando la velocidad de producción y manteniendo de manera más estable la calidad de sus productos. Las perturbaciones en el proceso surgían cuando el operario no realizaba una acción a tiempo o no se percataba de variables que cambiaban velozmente, añadiendo además de que el control remoto y los instrumentos de monitoreo podían fallar.

El avance de la industria exigía más velocidad, sin perder calidad en la producción. Se encontró que las variaciones en las variables a controlar pueden ser muy pequeñas y/o muy rápidas y que el ser humano no es capaz de apreciarlas, necesitando ayuda de sistemas especializados. Poco a poco se desarrollaron sistemas capaces de reaccionar a ciertas señales de manera automática, primero con sistemas mecánicos compuestos por cadenas cinemáticas, palancas, ruedas dentadas para que cuando ocurra un evento

determinado, el sistema reaccione de acuerdo con su configuración. Mas tarde aparecieron transductores (convierten señales de una naturaleza a otra) capaces de generar una señal eléctrica acorde con un proceso físico, implementando componentes eléctricos y electrónicos capaces de medir y detectar variaciones muy pequeñas en las variables del proceso, llegando a ser indispensables para la fabricación de un producto, Los procesos avanzaron según las necesidades de la población evolucionando sus diseños y reduciendo costos, fabricando productos en serie con procesos altamente automáticos [1].

Hoy en día es común encontrarse con equipos capaces de reaccionar a un estímulo y regular una variable en pocas milésimas de segundo, además que es posible trabajar en conjunto con otros equipos formando un sistema capaz de controlarse a sí mismo, este conjunto relaciona el vínculo entrada – salida que responde a acciones de causa y efecto, para que se comporte de una manera específica ante diferentes situaciones. Existen equipos que controlan actuadores, miden y detectan señales para controlar un proceso, estos componentes son comandados por equipos capaces de almacenar diferentes configuraciones y enviar señales que activan o desactivan estos componentes [2].

Debido a la multitud de procesos que existen, los sistemas que los controlan deben escogerse de acuerdo con la naturaleza de estos, su velocidad de respuesta, tipo de señales presentes, para que el control funcione correctamente. La naturaleza del sistema determina la cantidad y la velocidad con la que sus diferentes parámetros varían a lo largo de su operación. Si el sistema es lento sus variables varían lentamente, por lo tanto, la respuesta del sistema será lento. Cuando un sistema es rápido, los cambios de las variables de acuerdo con las acciones tomadas varían rápidamente obligando que la autorregulación actúe a una velocidad alta y la estabilización del sistema ocurra casi inmediatamente. En el caso de procesos para productos que son destinados al consumo humano se tienen consideraciones en los materiales que se utiliza los componentes que tienen contacto con el producto, buscando que no alteren las propiedades organolépticas de este [3].

El agua potable es un producto que parte del agua cruda la cual pasa a través de un proceso para potabilizarla. Dependiendo de las características del agua cruda, se puede simular un proceso natural en el cual se filtra el agua eliminando microorganismos y excedentes de elementos químicos que pueden perjudicar la salud o agregarlos para que reaccionen y formen moléculas “pesadas” con los químicos y materia orgánica no deseada para que sedimenten y se separen del agua cruda, convirtiéndose en agua segura para

consumir. El uso de químicos tiene un riesgo como debe suponerse, el cual es la cantidad que se adhiere. Si se agrega demasiado reactivo, si bien no es perjudicial para la salud, puede cambiar el sabor, el color o el olor del agua, lo cual el consumidor no aprueba; otros alteran el funcionamiento de proceso, ya que puede obstruir filtros, oxidar tuberías u otros.

Este proceso de potabilización se realiza en plantas destinadas a este uso y el control de cada etapa es esencial para proveer de un producto de calidad que cumpla con las características exigibles para este. En muchas etapas la presencia de la automatización es alta, controlando las válvulas y compuertas para que el agua fluya; también se controla la medición de las características del agua para que se tomen las medidas adecuadas, otro uso es en la dosificación de los químicos la cual responde a valores medidos dentro de un rango de tiempo. Este proceso de dosificación debe estar bien calibrado para evitar el desperdicio de los reactivos o que la presencia de elementos químicos supere los rangos aceptables [4].

1.2. PROBLEMA

1.2.1. Antecedentes

En abril de 1996 se concluye la obra de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) Tixán I, en la parroquia rural Chiquintad de la Ciudad de Cuenca, la misma que ha venido funcionando hasta la actualidad con un ciclo convencional completo de tratamiento de agua con una capacidad nominal de 840 *l/s*. Esta capacidad alcanza para suministrar al 40% de la población de la ciudad. En el año 2015 la Subgerencia de Ingeniería y Proyectos de la Empresa Pública ETAPA EP, presenta el proyecto de ampliación de la capacidad de la PTAP Tixán Módulo II. El diseño propuesto tiene un periodo de planificación de 30 años, esto basado en los criterios presentes en la Norma Nacional, que especifica vida útil de estructuras, obsolescencia de equipos y planificación de etapas de proyectos; siendo así, el año 2045 como año objetivo o final referente al diseño, en este año la empresa proyectó que se requerirán 1000 *l/s* con un valor del 10% adicional, estimando que para dicho año se tendrá un déficit de producción de 1100 *l/s*. [5]. De este modo el proyecto a cargo Cenelsur Cía. Ltda., el mismo que a través de un convenio interinstitucional con la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca se estructura el actual proyecto de titulación denominado “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE

MONITOREO Y CONTROL DE LA CONCENTRACIÓN DE MANGANESO EN AGUA CRUDA EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA TIXÁN – ETAPA EP”.

1.2.2. Importancia y alcances

Para la ejecución de los distintos rubros y trabajos objeto de este proyecto de implementación, será responsabilidad del contratista, tutor externo, el suministro de todos los materiales, equipos y mano de obra necesarios. Cualquier material, equipo y/o mano de obra no incluido en el análisis de precios unitarios de la oferta, que sea necesario para ejecutar, completar o perfeccionar el trabajo de acuerdo con los requisitos implicados o estipulados en este proyecto de implementación serán suministrado por el Contratista sin compensación adicional. Será responsabilidad del tesista el suministro de toda mano de obra necesaria para ejecutar, completar o perfeccionar el trabajo de acuerdo con los requisitos implicados o estipulados en este proyecto de implementación. El alcance de los trabajos a ejecutar por el contratista y tesistas es el siguiente:

- i. El desarrollo de diseños preliminares y detallados, que incluya la preparación de especificaciones, los planos, los diagramas de flujo y una lista de materiales.
- ii. Juntas de revisión del diseño, tanto internas como con el cliente. Con base en estas juntas de revisión del diseño, el cliente puede sugerir o aprobar cambios al plan original, los cuales tendrían un impacto en el alcance, el programa y el precio. Si el cliente necesita modificar el contrato, el contratista quizá tenga que volver a planear el proyecto para incorporar los cambios y establecer un plan inicial nuevo para el resto del trabajo.
- iii. El pedido de materiales, componentes y partes.
- iv. El desarrollo y las pruebas del software.
- v. El ensamble y las pruebas del hardware, incluidas la prueba y el ensamble de componentes en subunidades, la prueba y el ensamble de subunidades en el sistema, y la prueba del sistema de hardware completo.

- vi. La integración del hardware y el software, y las pruebas del sistema. El cliente tal vez quiera presenciar y documentar los resultados de las pruebas para asegurarse de que cumplen con las especificaciones del cliente.
- vii. La preparación de los requerimientos de instalación, como los planos de la planta y los requerimientos de los servicios y la identificación de los elementos que estarán bajo la responsabilidad del cliente durante la instalación.
- viii. La elaboración de materiales de capacitación (manual operativo, manual técnico, videos, simulaciones, horas de capacitación presencial y a distancia) para capacitar a los clientes en la operación y el mantenimiento del sistema.
- ix. La integración del sistema y su instalación.
- x. La capacitación de los usuarios clientes que van a utilizar y a darle mantenimiento al sistema.
- xi. La realización de pruebas de aceptación finales para demostrar que el sistema cumple con los requerimientos y los criterios de aceptación especificados por el cliente.

1.2.2.1. Explicación del problema

En la actualidad los procesos industriales se encuentran en constante desarrollo y avance con la finalidad de reducir tiempos, costos, mano de obra y maximizar la calidad del producto o servicio final. Un proceso de producción consiste en una serie de actividades orientadas a la transformación de un recurso o factor en un bien o producto. En los últimos años estos procesos se encuentran en constante análisis buscando su automatización, la disminución de errores, mejoras de precisión y exactitud, mientras el proceso lo permita. Los procesos pueden ser clasificados en un sin número de tipos, en función de varios parámetros, sin embargo, aquellos que se encuentran relacionados con productos para el consumo humano serán los más exhaustivos en cuanto al control y precisión de sus variables.

La Empresa Pública ETAPA EP es la encargada de proveer a la ciudadanía de varios productos y/o servicios básicos, siendo uno de ellos el agua potable, servicio el cual es posible gracias un proceso de potabilización de agua cruda en las plantas de potabilización

Machángara y desde el 2017 la planta Tixán, esta última se encuentra en la III fase de implementación. En esta planta se realiza el control de la calidad del agua que la empresa entrega a los usuarios a través de los diferentes sistemas de producción y distribución de agua tanto urbano como rural, manteniendo un programa de muestreo diario lo que permite garantizar el servicio y también detectar posibles alteraciones de la calidad del agua durante la distribución, muestreo que actualmente para ciertos minerales se realiza manualmente por un laboratorista quien posteriormente procede al análisis correspondiente.

Uno de los procedimientos que se realizan manualmente es la reducción de la concentración de manganeso en agua cruda por medio de la adición de un oxidante químico (KMnO_4), el manganeso debe permanecer por debajo de una concentración antes de que el líquido vital sea distribuido a la población. En la actualidad este procedimiento se considera rudimentario dado que el análisis dependerá de las muestras y de la percepción del analista, además que la dosificación de la sal oxidante también se realiza a mano, lo cual conlleva una mayor probabilidad de errores.

¿Es posible implementar un sistema automatizado para analizar la cantidad de manganeso en agua cruda y proceder al control automático en lazo cerrado de la dosificación de oxidante químico para su correcta eliminación, que se integre al proceso de potabilización de agua en la planta Tixán de la empresa ETAPA EP, aumentando la precisión, eliminando así, los errores humanos y mejorando la calidad de agua?

1.2.3. Delimitación

1.2.3.1. Temporal

El presente trabajo tiene una duración de 400 horas, las cuales han sido distribuidas en el proceso de diseño e implementación, análisis de datos y redacción del documento final.

1.2.3.2. Espacial

El presente trabajo se realiza en la Planta de Tratamiento de Agua Potable Tixán de la empresa ETAPA EP ubicada en la parroquia Chiquintad, al norte del cantón Cuenca, provincia del Azuay.

Está a una distancia aproximada de 11 Km del centro de la ciudad de Cuenca. Su extensión territorial es de 98,38 km², su altura media es de 2690 msnm y su temperatura máxima promedio es de 17°C y la mínima promedio es de 7°C, sus coordenadas son latitud -3.83279, longitud -78.99308. El análisis e implementación se llevan a cabo en el módulo I de la planta Tixán ETAPA II, además ciertos procesos de información y coordinación se realizan en la empresa y la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca.

La ubicación de la planta de potabilización de agua Tixán se muestra en el mapa en la siguiente ilustración.

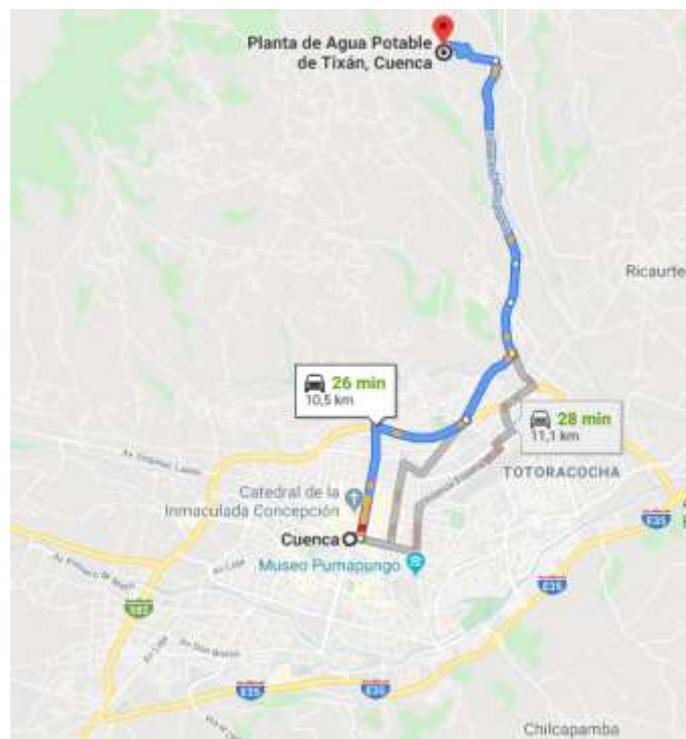


Ilustración 1. Ubicación en el mapa de la PTAP Tixán. [6]

La ubicación de la parroquia Chiquintad en el cantón Cuenca se muestra en la ilustración.

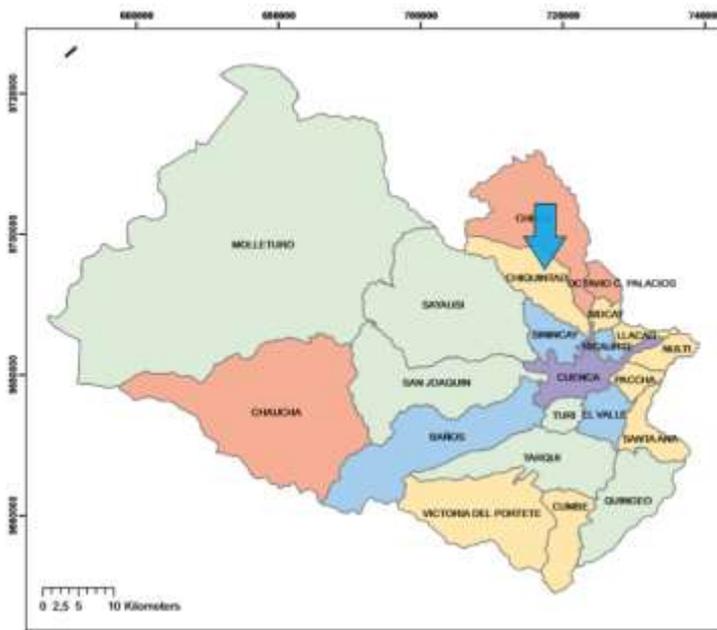


Ilustración 2. Mapa de distribución parroquial del cantón Cuenca. [7]

1.2.3.3. Académica

En el presente trabajo se lleva a cabo una investigación e implementación en el área de automatización de procesos y tratamiento de agua, se fomenta conocimientos específicamente en sistemas integrados, control industrial de procesos y comunicaciones industriales.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Mejorar la calidad del agua, producto de la planta de potabilización Tixán perteneciente a la Empresa de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y saneamiento de Cuenca ETAPA EP mediante el diseño e implementación de un sistema de monitoreo y control de manganeso en agua cruda para mejorar el proceso de potabilización.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Analizar las variables del proceso de oxidación enfocado al control de manganeso y los equipos existentes para este fin en la planta de potabilización de agua de Tixán - ETAPA EP.

- Diseñar el sistema de monitoreo y control online de manganeso en base a los parámetros de calidad de la empresa.
- Implementar e integrar el sistema de monitoreo y control en el proceso de oxidación para el control de manganeso.
- Realizar pruebas de funcionamiento del sistema implementado para calibrar instrumentos y actuadores en función de los requerimientos y normas de calidad de la empresa.

CAPÍTULO 2.

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Historia de la Potabilización de Agua

El agua es un líquido esencial para la vida y el desarrollo de la sociedad. Cuando aún no se fundaban las primeras sociedades, los seres humanos cambiaban de territorio constantemente, su estadía en cierto territorio estaba regido por la cantidad de agua dulce accesible disponible. Cuando estas fuentes de agua se reducían o se alteraban, las comunidades cambiaban de lugar para buscar una nueva fuente de agua. Poco a poco la gente se dio cuenta de algunos patrones que sucedían en las temporadas de sequía y de lluvia, se formularon métodos para reutilizar el agua, para transportarla y almacenarla, lo que provocó que los asentamientos se conviertan en un lugar fijo de residencia, desarrollándose las ciudades.

Al observar que el agua jugaba un papel importante en la agricultura, ganadería, alimentación y la salud de la población, se desarrollaron técnicas para conseguir que el agua sea más segura. Desde años alrededor de 4000 y 2000 a.C. se han encontrado registros de técnicas de potabilización como hervir el agua, ponerla al sol, filtrarla a través de carbón leña o arena, almacenarla en recipientes de cobre o vasijas de barro durante meses para que las impurezas se asienten tomar el agua de la superficie. También se tiene constancia de hitos sobre el manejo de agua como la primera presa construida, Sadd el-Kafara (Presa de los paganos), la cual fue construida por los egipcios alrededor de año 2770 a.C. y una ciudad con un complejo sistema de abastecimiento de agua, baños públicos y agua caliente, la cual es Mohejo-Daro entre los años 2600 a 1800 a.C. aproximadamente.

En 1500 a.C. los egipcios utilizaban la piedra de alumbre para aclarar el agua, la cual está compuesta por sulfato de potasio o aluminio, el mismo que se usa hoy en día para procesos de coagulación. Desde los años 1200 a.C. empiezan a encontrar ciudades con sistemas de abastecimiento, potabilización y distribución de agua análogos a los actuales utilizando troncos huecos como tuberías en occidente y en Asia era común el uso de bambú para este fin. En 700 a.C. los primeros acueductos para el transporte de agua a lugares alejados se encuentran en Jerusalén, Nínive. Las primeras formas de transportar

agua verticalmente también empiezan su desarrollo en esta época, con el “tornillo de Arquímedes” una bomba de agua, sin embargo, el rey de Asiria Senaquerib fue el primero en usar este mecanismo, el mismo que Arquímedes relata siglos después. Se puede notar que los métodos de potabilización buscaban mejorar las características del agua, eliminar la turbidez, color, olor y sabor desagradable. Así mismo entre los periodos de 600 a 300 a.C. se encuentran textos sobre la desalación del agua, mediante métodos físicos los cuales los relatan Tales de Mileto y Demócrito, culminando con la evaporadora de Aristóteles la cual ha sido extensamente utilizada.

Ya en 1680 entre los avances más importantes en cuanto al agua está un desarrollo de Thomas Savery, una bomba para extraer agua de la minería utilizando vapor, fue revolucionario ya que hasta el momento se utilizaba animales como fuente de potencia de estos instrumentos, además que esta máquina fue precursora de la máquina de vapor de James Watt. Hasta 1804 el filtrado de agua se realizaba a pequeña escala, casi de manera domiciliaria, ya que en este año inicia la construcción de una planta de filtrado para toda una población en Paisley, Escocia. El estudio de métodos para filtrar el agua no se detiene, en 1829 “The Chelsea Water Works Corporation“ construye la primera planta de filtros lentos de arena en Chelsea, Londres, tecnología que se utiliza hasta la actualidad debido a lo económico de su construcción y fácil mantenimiento y operación.

Otro paso para los sistemas de abastecimiento de agua potable fue el cambio a tuberías metálicas en los sistemas de distribución a principios del siglo XX, esto empezó a utilizarse de manera generalizada, anteriormente se utilizaban aun troncos de madera perforados que juntamente con el descubrimiento del cloro en 1807 se desarrollaron sistemas de desinfección mediante cloro, usado ampliamente en los países europeos alrededor de 1902 y posteriormente adoptado en EE. UU. en 1908. La tecnología de desalación no había ido muy allá de las técnicas de evaporación y destilación que utilizaban barcos para obtener agua en sus travesías, en 1955, EE. UU. lleva a cabo un proyecto de desalación a gran escala mediante la Desalación Súbita Multietapa (MSF) ya que la Destilación Multietapa (MED) no fue viable hasta 1959. Sin embargo, esta tecnología no duró mucho, ya que en 1960 se presenta la primera membrada de osmosis inversa como un método eficiente y preciso para la desalación del agua, el mismo que es usado hasta la actualidad debido a su capacidad de desalación [8] [9] [10].

Las técnicas de potabilización que se utilizan hoy en día no son más que la evolución de las utilizadas hace miles de años, las mismas que debido al avance tecnológico e investigativo se han ido perfeccionando y optimizando, para que sean viables y útiles asegurando una fuente segura de agua para las ciudades. Los procesos generalmente utilizados en la potabilización son:

- i. Captación: consiste en la recogida del agua.
- ii. Desbaste: se quitan los sólidos más grandes.
- iii. Desarenado/Predecantación: Se elimina arena y otras partículas pesadas para ser decantadas.
- iv. Coagulación y Floculación: Se añade una sustancia al agua para coagular partículas pequeñas con el fin de sedimentarlas.
- v. Decantación: Se deja “reposar” el agua para sedimentar las partículas sólidas.
- vi. Filtración: Se utiliza filtros para retener las partículas sólidas más pequeñas.
- vii. Cloración: Se desinfecta el agua mediante cloro
- viii. Almacenamiento: El agua se almacena y se mantiene el contacto con el cloro por un tiempo determinado, asegurando la potabilización.
- ix. Distribución: El agua es distribuida a los domicilios [11].

2.2. Enfermedades resultantes del consumo de agua cruda

Todo ser vivo necesita agua, ya que es un factor indispensable para que las células realicen procesos biológicos que hacen posible la vida, además de su sostenimiento y reproducción. Los seres vivos contienen como media un 70% de agua [12]. En el ser humano el agua del cuerpo se mantiene en sus niveles óptimos cuando la consumimos regularmente, ésta ayuda en la digestión, refrigera o calienta el cuerpo, también ayuda a transportar el oxígeno entre las células de este [13]. A pesar de todas las bondades que ofrece el agua al cuerpo humano, si no ha sido tratada, puede contener microorganismos, sustancias químicas y provocar enfermedades cuyo organismo causante está presente en

el agua o enfermedades que transmiten vectores que se reproducen en el agua [14] Entre las enfermedades que pueden producirse debido a consumir agua no tratada tenemos:

2.2.1. Arsenicosis

Envenenamiento por arsénico, es producida por el consumo de agua que contiene concentraciones de arsénico por encima de $10 \mu\text{g}/\text{l}$ durante un periodo largo desde 5 hasta 20 años. Por diferentes motivos, las afecciones a la salud que puede causar el arsénico en el agua bebible no han sido totalmente documentadas, sin embargo, se sabe que puede causar afecciones graves como cáncer, el envenenamiento puede ser causado no solamente por el consumo directo de agua contaminada, sino también por el consumo de alimentos regados o lavados con agua con altas concentraciones de arsénico [15].

2.2.2. Campilobacteriosis

Es una forma severa de la diarrea que puede ser provocada por la falta de un suministro de agua segura, Es provocada por una bacteria, entre sus síntomas están diarrea , dolor abdominal, fiebre nausea, vómito. Puede durar entre 2 y 5 días. La bacteria causante, el campylobacter, es la causa más común de la gastroenteritis [16].

2.2.3. Cólera

Puede ocurrir esporádicamente en cualquier parte del mundo donde el saneamiento, suministro de agua, seguridad alimentaria e higiene son inadecuadas. Es una infección aguda del intestino que presenta diarrea acuosa, náuseas y vómitos. Es una infección que puede llevar rápidamente a la deshidratación y muerte si no es tratada adecuadamente. Es causada por la bacteria *Vibrio cholerae*, que se encuentra en aguas contaminadas con heces personas infectadas, las frutas y vegetales que han sido lavadas con agua contaminada también pueden transmitir la infección [17].

2.2.4. Toxinas Cianobacterianas

Las cianobacterias o algas verdeazuladas producen toxinas que pueden provocar reacciones en animales y humanos. Las afecciones más serias a la salud son causadas por beber agua contaminada o por la ingesta no intencional durante actividades recreativas. Estas toxinas pueden provocar varios males dependiendo del tipo de toxina y el tipo de exposición al agua, entre los que esta la irritación de la piel, calambres estomacales,

vómitos, náuseas, fiebre, dolor de garganta, dolor muscular y articular, ampollas en la boca, daño hepático. Los nadadores en aguas contaminadas con estas toxinas pueden desarrollar reacciones alérgicas, irritación ocular, erupciones cutáneas. Los animales también pueden resultar envenenados por estas toxinas [18].

2.2.5. Diarrea

La diarrea es un problema mundial, es causante del 4% de muertes a nivel mundial, generalmente es provocado por infecciones gastrointestinales, en la mayoría de los casos, es un síntoma de infecciones que pueden ser causadas por organismos bacterianos, virales y parasitarios, donde la mayoría de estos organismos se pueden propagar por medio de agua contaminada. La enfermedad puede propagarse en alimentos debido a agua contaminada durante el riego, también en pescados y mariscos [19].

2.2.6. Fluorosis

Es producida por ingerir fluoruro en exceso, éste se encuentra en el agua y puede afectar a los dientes a corto plazo y a largo plazo una ingesta alta, puede causar problemas esqueléticos severos. Paradójicamente la ingesta de una dosis baja de fluoruro previene la caries dental. Los efectos de la fluorosis se pueden observar tempranamente en los dientes, al presentar manchas y picaduras; en casos más severos, todo el esmalte se encuentra dañado. La exposición a altos niveles de fluoruro causa efectos inmediatos como dolor abdominal, exceso de saliva, náusea y vómito. Una exposición aguda a alto nivel de fluoruro es rara y puede deberse a contaminación accidental del agua potable o debido a explosiones o incendios, Cuando la concentración de fluoruro se encuentra alrededor de 1.5 mg/l se considera exposición moderada y es más común. Aguas con altos niveles de fluoruro se encuentran comúnmente al pie de montañas altas [20].

2.2.7. Hepatitis

Inflamación del hígado, se debe a causas infecciosas y no infecciosas, dos de los virus que causan esta enfermedad se puede transmitir por el agua y comida, por lo que la higiene es importante en su control. La hepatitis A y E está ligada a fuentes de agua no seguras y su falta de saneamiento e higiene. Esta enfermedad se presenta con una subida brusca de fiebre, debilidad corporal, pérdida de apetito, náuseas y malestar abdominal, seguido de ictericia [21].

2.2.8. Envenenamiento por plomo

La exposición al plomo causa una variedad de problemas de salud. El agua raramente es una fuente importante de plomo, excepto cuando las tuberías de plomo son comunes. El plomo puede dañar el sistema nervioso y reproductivo, también los riñones causando presión alta y anemia. El plomo es dañino especialmente para el desarrollo cerebral de los fetos. También interviene con el metabolismo del calcio y la vitamina D [22].

2.2.9. Leptospirosis

Es una enfermedad bacteriana. Las primeras etapas incluyen fiebre alta, dolor intenso de cabeza, dolor muscular, escalofríos, enrojecimiento de ojos, ictericia, hemorragias en la piel y membranas mucosas, vómito, diarrea y erupciones cutáneas. La infección ocurre por contacto directo con orina de animales infectados o con un ambiente contaminado como agua superficial, suelo y plantas. Las leptospiras pueden entrar a través de cortes o abrasiones de la piel y por membranas mucosas [23].

2.2.10. Metahemoglobinemia

Esta afección se produce cuando la sangre no tiene la capacidad suficiente de transportar oxígeno vital alrededor del cuerpo debido a la disminución de hemoglobina. Entre las causas más comunes esta la presencia de nitrato en agua potable con una concentración por encima de 50 *mg/l*. Es muy importante controlar los niveles de nitrato en las fuentes de agua para consumo humano. Entre los individuos que tienen riesgo de contraer esta enfermedad están los infantes menores a tres meses, adultos mayores, personas con predisposición hereditaria, personas con úlceras pépticas y gastritis crónica, también pacientes de diálisis [24].

2.2.11. Esquistosomiasis

Es considerada como la segunda infección parasitaria más importante en términos de salud pública e impacto económico. Entre sus síntomas están erupciones cutáneas, picazón en la piel. Dos meses luego de la infección puede aparecer fiebre, escalofríos, tos, dolor muscular. Si no es tratada puede producir sangre en la orina y heces, agrandamiento del hígado y el bazo. En los niños provoca impactos negativos en el crecimiento, desarrollo nutricional y cognitivo. Puede ser tan grave como para producir enfermedades de hígado, riñones, vejiga, convulsiones, parálisis o inflamación de la

médula espinal. Esta enfermedad la causa tres tipos de gusano plano, el cual su larva penetra en la piel de afectado y lo infecta [25].

2.2.12. Anemia

Su causa principal es la deficiencia de hierro, es la deficiencia nutricional más prevalente en el mundo. Las infecciones severas relacionadas con la higiene, saneamiento, agua potable y manejo de agua contribuyen significativamente al desarrollo de anemia en individuos. Esta condición causa que los glóbulos rojos de la sangre ya no transporten suficiente oxígeno a los tejidos del cuerpo. El grupo más susceptible son mujeres embarazadas y niños. Tempranamente la anemia no presenta síntomas, luego se asocia con fatiga, debilidad, mareos y somnolencia, algunos signos son palidez en la piel, labios, lengua, vasos sanguíneos en el blanco del ojo. Sin tratamiento puede empeorar y ser causa de enfermedades crónicas. Se le relaciona como enfermedad producida por el agua ya que el consumo de agua no segura puede provocar diversas afecciones que contribuyen a esta condición [26].

2.3. Minerales en el Agua Cruda de altura

El agua de los ríos, lagos, lagunas y demás fuentes naturales, poseen minerales, metales, microorganismos, ácido húmico, partículas de arcilla y limos. Muchos de estos componentes son beneficiosos para una buena salud, como el calcio, magnesio, selenio, potasio, hierro, oro y otros; sin embargo, otros pueden causar afecciones a la salud, como el aluminio, arsénico, plomo, mercurio, cadmio. Es por lo que la Organización Mundial de la Salud presenta límites de todos estos minerales que puede contener el agua y que así sea beneficiosa y segura para el consumo humano.



Ilustración 3. Sedimentos fluviales [27].

2.3.1. Manganeso

Límite máximo: 0.5 *mg/l*

Límite sugerido: 0.10 *mg/l*

El manganeso es otro de los metales más abundantes de la corteza. Se usa para la industria del acero. Y como oxidante para limpieza. Es un elemento esencial y vital para el cuerpo humano y para animales, la exposición más importante a éste es por la comida. Por esto su deficiencia o sobreexposición puede resultar en efectos adversos. El manganeso causa efectos neurológicos cuando se expone a concentraciones altas en un periodo largo de tiempo, sin embargo, se han presentado variables confusas. El manganeso no siempre está presente en el agua cruda, su presencia se asocia al hierro.

En concentraciones mayores al 0.15 *mg/l* puede producir un sabor desagradable en el agua. Generalmente el control del manganeso es difícil, la remoción se realiza generando sales insolubles, por lo que suele ser necesario el uso de oxidantes y un pH alto. Los límites se han escogido de acuerdo con las propiedades organolépticas y la aceptación del cliente, el límite sugerido se toma de las Guías de Calidad para Agua de Bebida del Canadá y tiene en cuenta el color y el sabor que puede provocar el manganeso y el límite máximo corresponde a las Guías de Calidad para Aguas de Consumo Humano de la OMS [28].

2.3.2. Aluminio.

Límite máximo: 0.2 *mg/l*

El aluminio se considera como un componente natural del agua, ya que forma parte de la estructura de las arcillas y se presenta soluble y en sistemas coloidales. Se dice que está relacionado con la neurotoxicidad y la enfermedad del Alzheimer, sin embargo, no está comprobado. La ingesta de aluminio por el agua es el 5% de la ingesta diaria, sin embargo, el cuerpo no puede absorber mucho aluminio.

2.3.3. Arsénico

Límite máximo: 0.01 *mg/l*

Es un elemento común que se puede encontrar en mariscos y pescado, también se ingiere por medio del polvo del ambiente y del agua o alimentos preparados con agua. Una concentración alta de arsénico en el agua puede provocar lesiones en la piel, hiper e hipopigmentación de la piel, neuropatía periférica, cáncer de la piel, de la vejiga y de los pulmones y enfermedades vasculares.

2.3.4. Boro

Límite máximo: 0.5 *mg/l*

El boro es usado en la fabricación de vidrios. Jabones y detergentes, es ingerido por medio de las plantas, principalmente los frutos. Su impacto a la salud ha sido probado en animales y se observó toxicidad en los órganos reproductores masculinos.

2.3.5. Cadmio

Límite máximo: 0.003 *mg/l*

Es un metal usado en la industria del acero, plásticos y en las baterías. La fuente principal de exposición a cadmio son los alimentos. La cantidad promedio de ingesta diaria de cadmio en una persona es de 10 a 35 microgramos. El tabaco es una fuente adicional. Se sabe que la inhalación de cadmio provoca cáncer, este se aloja en los riñones con una durabilidad de 10 a 35 años.

2.3.6. Cloruros

Límite sugerido: 250 *mg/l*

Tienen su origen en fuentes naturales, efluentes industriales y de aguas negras, escurrimientos urbanos, fábricas de hielo e intrusión salina. La concentración excesiva de cloruros produce corrosión en las redes de distribución, por lo que puede ocasionar un aumento en la concentración de metales en el agua. En concentraciones superiores a 250 *mg/l* el cloruro provoca un sabor desagradable.

2.3.7. Cloro

Límite máximo: 5 mg/l

El cloro se usa muy frecuentemente como desinfectante a nivel industrial y doméstico, es usado para desinfectar albercas y en el tratamiento de agua potable donde este reacciona químicamente formando ácido hipocloroso e hipocloritos. No se han presentado efectos adversos a la salud en animales y humanos expuesto a cloro en agua. Aunque el límite permisible es de 5 mg/l , la mayoría de las personas distinguen el sabor a cloro en el agua a partir de los 0.5 mg/l .

2.3.8. Cromo

Límite máximo: 0.05 mg/l

Debido a la gran presencia de cromo en la corteza, los alimentos son en general la principal fuente de ingesta de cromo. Estudios a largo plazo de toxicología para cromo III no han presentado incrementos en tumores, el cromo VI es cancerígeno cuando se inhala, pero no hay evidencia por vía oral, este mismo es activo en pruebas de genotoxicidad.

2.3.9. Cobre

Límite Máximo: 2 mg/l

El cobre es un nutriente esencial y contaminante del agua potable. Sus usos son variados y la fuente principal es la corrosión de las tuberías de plomería. Dependiendo de la configuración de la red de distribución la exposición al cobre puede cambiar significativamente, a pesar de que en estudios no se ha detectado con claridad los efectos del cobre en la salud, han sido suficientes para determinar su límite máximo permisible de concentración en agua potable.

2.3.10. Cianuro

Límite máximo: no determinado, 0 *mg/l* sugerido

Su presencia generalmente está en países en desarrollo, debido a la contaminación industrial. Es un compuesto sumamente tóxico, inclusive tiene repercusiones en la tiroidea y el sistema nervioso ante consumo a largo plazo.

2.3.11. Fluoruro

Límite sugerido: entre 0.5 y 1 *mg/l*

Ya que es un elemento común y existe como fluoruros en los minerales de las rocas, muchas aguas presentan pequeñas cantidades de concentración, siendo mayor en aguas subterráneas. En algunos casos se han medido concentraciones mayores a los 10 *mg/l*. La mayoría de los alimentos contienen fluoruros que se absorben del suelo y el agua. En algunos casos se añaden fluoruros, sin embargo, si su concentración y exposición diaria no es controlada puede desencadenar en fluorosis.

2.3.12. Calcio

Límite sugerido: entre 100 y 200 *mg/l*

Su disolución en agua se conoce como dureza, esta depende del pH y la alcalinidad del agua. Una concentración alta puede resultar en depósitos de sarro y cuando es baja, el agua es más corrosiva para las tuberías. Se ha mostrado una relación estadísticamente inversa entre la dureza y enfermedades cardio vasculares. Las aguas de baja dureza pueden tener efectos adversos en el balance mineral, pero se necesitan más estudios. El límite sugerido se ha propuesto de acuerdo con la aceptabilidad del consumidor.

2.3.13. Iodo

Límite máximo: no establecido

Se usa ocasionalmente como desinfectante del agua en campo y situaciones de desastres. Es un elemento esencial para sintetizar hormonas de la tiroidea. En adultos el requerimiento diario es de 80 a 150 microgramos. No se ha observado un riesgo de consumo excesivo de iodo ya que no existe uso de largo plazo en el agua potable.

2.3.14. Hierro

Límite sugerido: 2 mg/l

El hierro es uno de los minerales más abundantes en la corteza terrestre, su rango en agua dulce varía entre 0.5 a 50 mg/l . Su concentración puede aumentar debido a la corrosión de tuberías. El requerimiento mínimo diario de hierro es de 10 y 50 mg/día , la acumulación excesiva de hierro en el cuerpo es nociva. El sabor y coloración del agua cambian con concentraciones de hierro menores a los 2 mg/l , sin embargo, se ha establecido como límite, aunque generalmente se manejan concentraciones menores.

2.3.15. Plomo

Límite máximo: 0.01 mg/l

Actualmente la ingestión de plomo por el agua potable representa la mayor proporción. El origen del plomo en agua proviene de soldaduras de tuberías y coples que contienen plomo. Su mayor riesgo es para niños pequeños ya que absorben plomo en mayor cantidad. El plomo se acumula en el esqueleto e interfiere con el metabolismo del calcio. Es tóxico para el sistema nervioso central y periférico. También se han demostrado efectos adversos cognitivos y de comportamiento.

2.3.16. Mercurio

Límite Máximo: 0.006 mg/l

La metilación del mercurio inorgánico ocurre en agua dulce y salada, sin embargo, su forma en aguas no contaminadas es Hg^{2+} , por lo que no existe un riesgo de ingestión de mercurio inorgánico en agua potable. Los efectos adversos se observan en los riñones debido a exposición corta y prolongada. Puede provocar envenenamiento oral agudo, que provoca gastritis hemorrágica y colitis. Las evidencias del bicloruro de mercurio sugieren que incrementa el crecimiento de tumores benignos donde existe daño al tejido, pero sin causar mutaciones.

2.3.17. Molibdeno

Límite máximo: 0.07 *mg/l*

El molibdeno es usado en la agricultura como aditivo lubricante para prevenir la deficiencia en cultivos. Es considerado como un elemento esencial para el cuerpo, con un requerimiento diario de 0.1 a 0.3 mg. No hay datos sobre carcinogenicidad por vía oral. El límite fue basado en un estudio de 2 años en humanos expuestos a molibdeno en el agua potable y es consistente con el requerimiento mínimo diario.

2.3.18. Níquel

Límite máximo: 0.07 *mg/l*

Es usado en la industria del acero. La alimentación es la fuente principal de níquel para la población no fumadora. El agua potable constituye una fuente menor, pero puede ser significativa en áreas con alta contaminación, mantos freáticos, pozos con material no resistente, o agua entubada con llaves que contienen cromo o níquel. El níquel es cancerígeno en forma inhalada, pero existe poca evidencia de cáncer asociado por vía oral. En estudios con ratas se ha demostrado efectos en órganos reproductivos, crecimiento, desarrollo de las descendencias, fatalidad perinatal. El efecto prevalente en la población es la dermatitis alérgica por contacto con níquel.

2.3.19. Nitrógeno

Límite máximo de nitratos y nitritos: 50 *mg/l*

En su forma como nitrato (NO₃) se encuentra en el ambiente y es un nutriente para las plantas, el mismo que llega a fuentes de agua superficiales y subterráneas debido al uso excesivo de estiércol o fertilizantes nitrogenados, descarga de aguas tratadas o excremento, fosas sépticas. Los nitritos (NO₂) generalmente no se presentan en concentraciones significativas, a menos que el ambiente sea reductor o debido a la acción de bacterias. La fuente principal de exposición a nitritos y nitratos son los vegetales y la carne ya que algunos nitritos se usan como conservantes. Los niveles de concentración alta de nitratos en el agua pueden provocar metahemoglobinemia, la cual impide el transporte de oxígeno en el cuerpo. El límite de 50 *mg/l* se propone para proteger a

infantes del riesgo de cianosis ya que la mayoría de los casos han ocurrido con concentraciones por encima de 44.3 mg/l de nitrato.

2.3.20. Selenio

Límite máximo: 0.01 mg/l

Este se encuentra en asociación con minerales que contienen sulfuro. El cereal, la carne y el pescado es la fuente principal de selenio para la población en general. Es un elemento esencial para el cuerpo, para el cual la ingesta recomendada diaria es de 1 microgramo por kilogramo de masa corporal. Los compuestos del selenio han mostrado genotoxicidad en sistemas in vitro, sin embargo, no en humanos. En ensayos con ratas las afecciones principales son en el crecimiento y patologías de hígado, por lo que el límite se ha establecido en base a los efectos potenciales a la salud.

2.3.21. Plata

Límite máximo: no establecido

La plata se encuentra principalmente en óxidos insolubles, sales y sulfitos. Raramente se encuentra en concentraciones mayores a 5 microgramos por litro. La ingesta estimada diaria es de 7 microgramos por persona. El sobre consumo de plata provoca argiria, una condición en la que la piel y el cabello se decolora severamente. Cuando se usa plata para desinfección de agua potable, la concentración puede subir de 5 hasta 100 microgramos por litro, no causa riesgo a la salud.

2.3.22. Sodio

Límite sugerido: 200 mg/l

Se encuentra en casi todos los alimentos y agua potable. En la mayoría de los casos la concentración de sodio está por debajo de 20 mg/l , pero puede excederse por mucho en otros. Algunos suavizantes para disminuir la dureza y formación de sarro en el agua pueden aumentar la concentración del sodio. Se atribuye una relación entre el sodio y la hipertensión, pero no hay pruebas concluyentes. No existe un límite sugerido, sin embargo, cuando la concentración está por encima de 200 mg/l produce un sabor desagradable.

2.3.23. Azufre

Límite máximo: 500 *mg/l*

Se presenta en forma de sulfatos, los niveles más altos en aguas subterráneas son de origen natural. El promedio de ingesta diaria es de 500 *mg*. Según datos no hay niveles de sulfato con consecuencias adversas a la salud. En concentraciones entre 1000 a 1200 *mg/l* tiene un efecto laxativo, pero no produce diarrea, deshidratación o pérdida de peso. El límite se propone debido a los efectos gastrointestinales y a que puede provocar un sabor desagradable o corrosión en los sistemas de distribución.

2.3.24. Uranio

Límite máximo: 0.015 *mg/l*

El uranio se encuentra presente como resultado de la lixiviación de depósitos naturales, descargas de jales, combustión de carbón y otros combustibles, uso de fertilizantes con fosfatos y uranio. No hay suficientes datos de la cancerogenicidad del uranio. El primer efecto químico del uranio en humanos es la nefritis, inflamación de los tejidos del riñón. No hay mucha información disponible sobre los efectos crónicos de la exposición a largo plazo de uranio en agua potable.

2.3.25. Zinc

Límite sugerido: 3 *mg/l*

Está presente en casi todos los alimentos y agua potable en forma de sales y complejos orgánicos, es un elemento esencial. Los niveles en aguas superficiales no rebasan los 0.01 *mg/l* y en subterráneas generalmente no están por encima de 0.05 *mg/l*, las concentraciones en el agua de la llave pueden ser mayores debido a la disolución del zinc de las tuberías. El requerimiento diario es de 15 a 20 miligramos. El agua potable con concentración por encima de 3 *mg/l* no se considera adecuada para los consumidores [29] [30].

2.4. Procesos de Transferencia en la Potabilización de Agua

2.4.1. Transferencia de sólidos

2.4.1.1. Cribado o cernido

Consiste en tamizar el agua logrando que los sólidos de mayor tamaño queden retenidos entre las rejillas o el tamiz. Los elementos que quedaran retenidos dependen directamente del tamiz o las rejillas que se utilicen.

2.4.1.2. Sedimentación

Es una forma de remover las partículas en suspensión más densas mediante la acción de la fuerza de gravedad mientras el agua se encuentra en reposo.

2.4.1.3. Flotación

Cuando el agua se encuentra en reposo, las partículas en suspensión menos densas que el agua, ascienden a la superficie y pueden ser retiradas por medio de desnatado, comúnmente se utilizan agentes de flotación como espumantes y microburbujas de aire. Este proceso es eficaz para la remoción de aceites, grasa, turbiedad y color.

2.4.1.4. Filtración

Consiste en hacer pasar agua por un medio poroso, etapa muy similar al cribado, pero con porosidades mucho menores, el filtro más común es el de arena, la eficiencia de esta etapa depende de las características de suspensión y del medio poroso. Otros medios porosos son la antracita, el granate, la magnetita, el carbón activado, la cáscara de arroz, la cáscara de coco quemada y molida y el pelo de coco en caso de filtros rápidos. Para filtros lentos lo más efectivo es usar filtros de arena; no se recomienda el uso de putrescibles.

2.4.2. Transferencia de iones

2.4.2.1. Coagulación química

Consiste en adicionar una sustancia química al agua con propiedades coagulantes, esta transfiere sus iones y neutraliza la carga eléctrica de los coloides, para favorecer la

formación de flóculos de mayor tamaño y peso. Este proceso se utiliza para remover la turbiedad y el color.

2.4.2.2. Precipitación química

Se usan sustancias químicas solubles para formar un precipitado y remover sustancias como hierro, manganeso o para procesos de ablandamiento.

2.4.2.3. Intercambio iónico

Consiste en un intercambio de iones entre la sustancia que se desea remover y un medio sólido, por el cual se hace pasar un flujo de agua. Un proceso común de este tipo es el ablandamiento mediante resinas.

2.4.2.4. Absorción

Es un proceso que consiste en la remoción de iones y moléculas, concentrándolos en la superficie de un medio absorbente. Se aplica en la remoción de olores y sabores aplicando carbón activado en polvo.

2.4.3. Transferencia de gases

2.4.3.1. Aireación

Se puede efectuar mediante caídas de agua en escaleras, cascadas, chorros y aplicando gas a la masa de agua mediante aspersion o burbujeo.

2.4.3.2. Desinfección

Consiste principalmente en aplicar gas cloro y ozono al agua tratada.

2.4.3.3. Recarbonatación

Es un proceso de regulación del pH, que consiste en aplicar anhídrido carbónico al agua, generalmente se realiza luego de un proceso de ablandamiento

2.4.4. Transferencia molecular o de nutrientes

Es un proceso natural de purificación donde las bacterias saprofitas descomponen la materia orgánica en sustancias más simples y estables. Esta transferencia se lleva a cabo

en la filtración, donde los mecanismos de remoción más eficientes se deben a la actividad de los microorganismos.

2.4.5. Procesos adicionales

2.4.5.1. Estabilización de solutos

Consiste en transformar un soluto objetable en una forma inocua, sin llegar a su remoción. Procesos de transformación del anhídrido carbónico en bicarbonato soluble mediante adición de cal o pasando el agua a través de lechos de mármol, es un ejemplo de estabilización de solutos.

2.4.5.2. Desalinización

Es un proceso que convierte el agua salobre en dulce al eliminar los cloruros en el agua, existen varios métodos para conseguirla como la destilación y la ósmosis inversa.

2.4.5.3. Fluoruración

Es una medida que se considera para evitar la caries dental, añadiendo fluoruros al agua, se debe tener especial atención a casos de fluorosis [31].

2.5. Plantas de tratamiento de Agua

Se puede considerar como planta de tratamiento a un conjunto secuenciado de operaciones y procesos que han sido seleccionados para eliminar contaminantes microbiológicos y características físicas y químicas en el agua cruda, alcanzando los niveles especificados por las normas para que el agua sea segura y apta para el consumo humano [31].

La configuración de una planta de tratamiento depende sustancialmente de la calidad de la fuente de agua cruda, por esta razón se realiza un análisis de la fuente para determinar qué factores afectan en mayor manera a la calidad de agua para escoger los procesos adecuados para lograr la potabilización del agua sin realizar procesos innecesarios que aumentan el costo de potabilización. Se debe procurar el cuidado de la fuente para que la planta no se vuelva obsoleta [32].

Las plantas de tratamiento se pueden dividir en plantas de filtración lenta y plantas de filtración rápida.

2.5.1. Plantas de filtración lenta

También conocidas como plantas de filtro inglés, estas plantas simulan procesos naturales de tratamiento como los que le ocurren a aguas subterráneas, las cuales son percoladas por los estratos de la corteza terrestre, es decir, pasan a través de capas de grava, arena y arcilla empleando procesos físicos y biológicos [31].

Este tipo de planta es muy económica en cuanto a construcción y mantenimiento, es la recomendada para lugares con requerimientos de consumo bajos y moderadamente bajos como zonas rurales, no se necesita una mano de obra calificada para su uso y mantenimiento de la planta, ya que se constituye de un filtro de arena el cual sirve de colador para el agua de la fuente, el filtro retira las impurezas y microorganismos. Sin embargo, entre las desventajas de este tipo de filtros esta la extensa área que ocupa con relación a la capacidad de filtrado, siendo un inconveniente en áreas que no poseen extensiones grandes de terreno que puedan dedicar a una planta de tratamiento, otra de las limitantes es la calidad del agua de la fuente de abastecimiento, la cual debe cumplir ciertas características para que un filtro lento sea efectivo y suficiente para garantizar agua potable [33].

Si la fuente no cumple con los límites aceptables por el filtro lento se pueden añadir procesos de desarenado, presedimentación, sedimentación, filtración gruesa o filtración en grava. Estos procesos previos acondicionan el agua cruda para que cumpla con los límites del filtro lento. En la siguiente tabla se muestran que procesos debe tener la planta de acuerdo con los rangos de turbiedad, color y contaminación microbiológica del agua cruda [31].

Tabla 1. Calidad del agua para tratamiento por filtración lenta [31]

Procesos	Parámetros	90% del tiempo	80% del tiempo	esporádicamente
Filtro Lento	Turbiedad (UNT)	< 20	< 10	< 50
	Color verdadero (UC)	< 15	< 5	
	Concentración de algas (UPA/mL)	250		
	DBO5 (mg/L)	5		
	NMP de coliformes totales/100 mL	1 000		
	NMP de coliformes fecales/100 mL	500		
Filtro Lento + prefiltro de grava	Turbiedad (UNT)	25		
	Color verdadero (UC)	15	< 5	< 25
	Concentración de algas (UPA/mL)	1 000		
	NMP de coliformes totales/100 mL	5 000		
Filtro Lento + prefiltro de grava + sedimentador	NMP de coliformes fecales/100 mL	1 000		
	Turbiedad (UNT)	100	< 50	< 500
	Color verdadero (UC)	< 15	< 5	< 25
	Concentración de algas (UPA/mL)	1 000		
Filtro Lento + prefiltro de grava + sedimentador + presedimentador	NMP de coliformes totales/100 mL	10 000		
	NMP de coliformes fecales/100 mL	3 000		
	Turbiedad (UNT)	100	< 50	< 1 000
	Color verdadero (UC)	< 15	< 5	< 25
	Concentración de algas (UPA/mL)	1 000		
	NMP de coliformes totales/100 mL	10 000		
	NMP de coliformes fecales/100 mL	3 000		

2.5.2. Plantas de filtración rápida

Las plantas de filtración rápida poseen filtros que operan a velocidades entre 80 y 300 $m^3/m^2 \cdot d$, estas velocidades ocasionan que los filtros se colmaten en 40 a 50 horas, es decir los filtros se saturan, por esto se aplica el retrolavado que básicamente es invertir la dirección del flujo durante 5 a 15 minutos, dependiendo del sistema de lavado, para que el filtro recupere su porosidad y se pueda reanudar la normal operación. De acuerdo con la fuente de abastecimiento y sus características se puede optar por una planta de filtración rápida completa o una planta de filtración directa [31].

2.5.2.1. Planta de filtración rápida completa

Generalmente integra los procesos de coagulación, decantación, filtración y desinfección. El agua cruda se vierte en unas piscinas donde empieza su tratamiento. El proceso de coagulación inicia con una agitación fuerte, conocida como mezcla rápida, en el agua al momento de añadir la sustancia coagulante para que esta se disperse en la masa de agua, luego se agita el agua lentamente para que se formen los flóculos y crezcan rápidamente, esto es la etapa de floculación. El proceso de coagulación ayuda en la remoción de partículas coloidales cuando se dejan sedimentar en el proceso de decantación. El proceso de filtración le da el pulimento final al agua.

Según la agencia de protección ambiental (EPA) de los Estados Unidos los decantadores deben producir un agua con 2 UNT como máximo, para que el filtro produzca un efluente con turbiedad menor o igual a 0.1 UNT garantizando que ésta está libre de huevos de parásitos.

Luego del filtrado se realiza la desinfección que es un proceso común en los dos tipos de plantas de filtración rápida. Con este proceso se completa la remoción de microorganismos patógenos que no fueron retirados por los filtros y provee de protección contra los contaminantes que puede encontrar cuando el agua está en el sistema de distribución. La desinfección se aplica con un residual libre de 1 *mg/l* a la salida de la planta y un tiempo de contacto mínimo de 30 minutos, por lo que solamente elimina bacterias, es así como el proceso de decantación y filtración son esenciales para garantizar la calidad del agua.

Debido a las altas tasas y los procesos con los que operan estos sistemas, se requiere de recursos humanos capacitados, por lo que no es recomendable este sistema para zonas marginales o económicamente deprimidas. El costo de construcción y mantenimiento es elevado, lo que requiere un análisis preliminar para la viabilidad de implementación, además de que se pueden requerir de procesos adicionales de acuerdo con las características de la fuente de agua cruda. La elección de este tipo de sistema depende de la demanda de agua potable, las características de la fuente de abastecimiento, el terreno y los recursos humanos disponibles; por lo tanto, se deben desarrollar las condiciones locales necesarias para asegurar una buena eficiencia en calidad y cantidad. En la

siguiente tabla se muestra las características de calidad del agua para considerar esta alternativa de tratamiento.

Tabla 2. Límites de calidad de agua para tratamiento mediante filtración rápida completa [31].

Parámetros	90% del tiempo	80% del tiempo	esporádicamente
Turbiedad (UNT)	< 1 000	< 800	< 1500; si excede, considerar presedimentación
Color verdadero (UC)	< 150	< 70	
NMP de coliformes termotolerantes/100 mL	< 600		Si excede de 600, se debe considerar predesinfección.

2.5.2.2. Filtración directa

Está constituida solamente por los procesos de mezcla rápida y filtración, este tratamiento es apropiado solamente para aguas constantemente claras y poco contaminadas como las provenientes de grandes presedimentadores, es decir embalses o represas. Para la implementación de filtración directa es necesario un amplio estudio de la fuente, que pueda determinar acertadamente el comportamiento estacional, ya que en los ciclos de lluvia hay fluctuaciones más grandes en las características de calidad.

En caso de una cuenca virgen o bien protegida, es decir cuando la fuente de agua es confiable y sus rangos de turbiedad y color están entre 10 y 20 UNT el 80% del tiempo y no supera 30 UNT o 25 UC el 90% del tiempo, la filtración directa descendente es una opción. Cuando el agua viene directamente del río no se puede garantizar que no habrá fluctuaciones de turbiedad, así que debe considerarse una floculación corta, para que el efluente tenga una calidad constante. Esta alternativa es la más restringida en cuanto a la calidad del agua [31].

Para aguas con menos de 100 UNT y 60 UC el 90% del tiempo y que esporádicamente alcanzan 200 UNT y 100 UC una alternativa es la filtración directa ascendente, la cual es una variante de la filtración directa descendente, el agua cruda ingresa por debajo del medio filtrante y debido a diferencias de presión asciende a la superficie del filtro y luego es captada por medio de tuberías.

La filtración directa ascendente – descendente puede usarse para aguas que no sobrepasan los 250 UNT y 60 UC el 90% del tiempo, pero esporádicamente pueden alcanzar 400 UNT y 100 UC. Este tipo de filtración combina ambos métodos y realiza primero la filtración de flujo ascendente y en seguida el descendente [34].

En la siguiente tabla se sintetizan los rangos de calidad de agua para el tratamiento mediante filtración directa.

Tabla 3. Límites de calidad de agua para plantas de filtración directa [31].

Alternativa	Parámetros	90% del tiempo	80% del tiempo	esporádicamente
Filtración directa descendente	Turbiedad (UNT)	25 – 30	< 20	< 50
	Color verdadero (UC)	< 25		
	NMP de coliformes totales/100 mL	2 500		
	Concentración de algas (unidades/mL)	< 200		
Filtración directa ascendente	Turbiedad (UNT)	< 100	< 50	< 200
	Color verdadero (UC)	< 60		< 100
Filtración directa ascendente – descendente	Turbiedad (UNT)	< 250	< 150	< 400
	Color verdadero (UC)	< 60		< 100

Otros parámetros importantes que se deben tener en cuenta para la filtración directa se muestran en la siguiente tabla, Estas restricciones son más importantes para el caso de la filtración directa descendente porque el agua tiene un tiempo de retención muy corto mientras pasa por el mezclador y el filtro, por lo que si existen cambios bruscos en la calidad del agua no hay tiempo suficiente para cambiar la dosificación. El costo de los estudios de la fuente de abastecimiento es justificable ya que la implementación de este tratamiento puede generar un ahorro de entre 40 y 50% en sustancias químicas.

Tabla 4. Parámetros de calidad importantes para la filtración directa [31].

Parámetros	Valores recomendables
Sólidos suspendidos (mg/L)	< 50
Carbono orgánico total (mg/L)	< 5
pH	5.5 – 6.5
Fósforo total (mg/L)	< 0.05
Nitrógeno total (mg/L)	< 5
Clorofila (mg/L)	< 10
Coliformes totales (colif./100)	< 2 500
Hierro (mg/L)	10
Manganeso (mg/L)	2

2.6. Eliminación de Manganeso

El manganeso es considerado el tercer elemento con mayor presencia en la corteza terrestre y el número doce en cuanto a abundancia en términos generales. Es por ello que es bastante común encontrarlo en reservorios de líquido vital, cuencas hidrográficas, sedimentos y piso oceánico. [35] El agua cruda con altos niveles de manganeso le da una coloración y un sabor metálico, es por ello que, según las estadísticas mundiales de la salud (WHO) este factor es considerado como una deficiencia estética, sin embargo, los

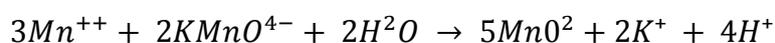
altos niveles de este mineral en el agua además de lo antes mencionado, pueden producir deterioro y averías en las tuberías y sistemas de tratamiento, conducción y distribución del agua. [36] En cuanto a la salud, la sobreexposición al mineral y sus consecuencias van a variar dependiendo de ciertos factores como la forma y tipo de exposición, sus tiempos y concentraciones, llegando a tener repercusiones incluso a niveles neurológicos [37].

Los estándares internacionales recomiendan que la concentración de manganeso en el agua no debe exceder los 0.1 mg/l , sin embargo, algunos estudios indican que la concentración de Manganeso no debe superar el rango de $[0.02:0.05] \text{ mg/l}$, alcanzando así, las condiciones estéticas y de concentración del mineral adecuadas tanto para su post tratamiento como uso comercial e industrial [37] [38].

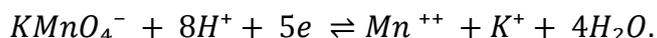
2.6.1. Oxidación de Manganeso utilizando Permanganato de Potasio

A lo largo de los años muchos métodos han sido los utilizados para la eliminación de manganeso, la oxidación a través de la inclusión de un reactivo ha sido uno de los que mejores resultados ha tenido. De todos los oxidantes el Permanganato de Potasio (KMnO_4) es uno de los más utilizados en procesos de oxidación de elementos orgánicos con altos niveles de éxito debido a su rápida reacción, sin tener partículas remanentes y trabaja en un rango limitado de alcalinidad o generalmente neutro [39] [40]. Es importante tener en cuenta los estados de oxidación de manganeso, debido a que, en función de estos se encuentra el tipo de solución para su eliminación por ejemplo compuestos de manganeso con iones Mn^{2+} y Mn^{3+} se encuentran dentro de la escala que debe oxidarse con bases, el óxido de Mn^{4+} y MnO_2 tienen capacidades anfóteras, el óxido de Mn^{5+} al contrario, presenta inestabilidad ante ambas soluciones, los compuestos con Mn^{6+} presentan estabilidad únicamente con sustancias alcalinas para su reacción y finalmente los estables a soluciones acidas son los que se encuentran en el estado Mn^{7+} [39].

En función de esta caracterización podemos basarnos en las siguientes ecuaciones para una oxidación mediante permanganato de potación, para el caso de una solución neutra [38] [39]:



La concentración de iones de hidrogeno en una solución acida puede potenciar en gran medida la reacción, para ella la reacción es [38] [39]:



Por otra parte, cuando el nivel de acidez es bajo o la solución corresponde a una base la acción positiva de los iones de hidrogeno tienen menor incidencia, por lo que se utiliza la siguiente reacción [39]:



Existe una condición específica correspondiente al dióxido de manganeso hidratado, debido a que tiene propiedades acidas absorbe iones manganesos y evita así la oxidación de estos en su totalidad. Para ello se busca introducir cationes de Ca, Mg, Ba o sales de Zn, los mismos que adsorberán dejando los iones de manganesos libres para reaccionar. Teóricamente la proporción de $KMnO_4$ para oxidar Mn^{++} en su totalidad es de 1:1.9. Además, el permanganato de potasio oxidará gran cantidad de compuestos orgánicos, alcoholes, y sustancias como hierro, sulfito, tiosulfato, entre otras. Finalmente se debe considerar que la velocidad de oxidación se incrementa en solución alcalina [39].

2.6.2. Oxidación Experimental de Manganeso sin reactivo a través de una cama fija

Los diferentes métodos de eliminación tienen sus ventajas y desventajas, por ejemplo, la oxidación con oxígeno atmosférico requiere un potente oxidante como el cloro o el permanganato, por otro lado, los procesos de bancos de filtros fijos son relativamente costosos frente a su vida útil.

Este proceso híbrido experimental aprovecha las ventajas de ambos mundos, siendo un proceso que no requiere ningún catalizador y aprovecha únicamente el oxígeno atmosférico para la oxidación sin la necesidad de tiempos prolongados de maduración. Además, el sedimento generado de manganeso se deposita en un soporte de antracita que se utiliza como cama fija, obteniendo así excelentes resultados de reducción del químico. Las condiciones de medición en el piloto fueron, inicialmente un caudal de [10:13] $m^3 \cdot h^{-1}$, la velocidad de filtrado se encontró en el rango [8.9:11.12] $m^3 \cdot h^{-1}$, se inyecta oxígeno hasta su saturación y se realiza un filtrado, el cual puede ser por arena, vidrio o antracita, que debe tener características como granularidad, rigidez y debe ser capaz de retener la mayor cantidad de $MnOx$. Otra consideración importante es que el

procedimiento se debe realizar en una caja aislada, evitando así, de manera voluntaria la catalización oxidativa rápida que podrían afectar los resultados de la prueba. Pruebas previas denotaron que el manganeso tenía gran adherencia a la antracita, por ello estos dos elementos se montaron en una red de soporte en la parte inferior del filtro de Mn [36].

La relación MnM: antracita se determina de manera empírica 1:7 a través de la disolución del óxido de manganeso en solución piraña. Mediante un análisis de plasma acoplado inductivamente, también conocido como espectrometría de masas con plasma (ICP), se determina la concentración de Mn (II), y el Mn(IV) mediante espectrofotometría. Se utiliza agua desionizada con un proceso de rociado de nitrógeno con la finalidad de alcanzar un nivel de oxígeno cero, para formar soluciones de Sulfato de Manganeso ($MnSO_4$), con concentraciones de 1.5, 4.5 y 7 $mg \cdot L^{-1}$ y un pH ajustado de 7,5. Estas soluciones son disueltas en 5 ml de agua para ser transferidas a una bolsa de purificación que se sumerge en 45 ml de agua, después de una hora de exposición se procede a realizar la medición exacta de la concentración de Mn(II) mediante ICP. Además, el lodo de manganeso tomado de la planta se transfiere a las bolsas y las soluciones de Mn(II), proceso que da como resultado una concentración de óxido de manganeso de $190 mg \cdot L^{-1}$, este proceso tiene un tiempo de equilibrio de aproximadamente 90 h, previo a la medición de concentración mediante análisis fotométrico

2.7. Descripción de la planta de tratamiento de agua potable Tixán II

La planta de tratamiento de agua Tixán II es uno de los dos centros de producción del sistema Machángara – Tomebamba la misma que trata el agua proveniente del río Machángara, el módulo II de la planta se encuentra junto al módulo I que posee una capacidad de 840 L/s y el módulo II una capacidad hidráulica nominal de 1100 L/s , por consiguiente, el conjunto de la planta de Tixán posee una capacidad nominal de 1940 L/s . Se encuentra en el sector rural Tixán de la parroquia Chiquintad, a una altura de 2692 m.s.n.m. La captación del agua cruda para la PTAP inicia en la descarga de la central de Saymirín, su conducción consiste en un canal abierto que se usa para riego y abastecimiento de la planta.

Los módulos de la PTAP consisten en tecnología convencional de ciclo completo, es decir que contienen los procesos de coagulación, floculación, decantación, filtración

rápida y desinfección. El coagulante utilizado es el sulfato de aluminio tipo B, se adiciona una dosis de polímero para ayudar a la floculación y permanganato de Potasio para el control de manganeso mediante oxidación. La adición de permanganato de Potasio ocurre a partir de los deslizamientos en la quebrada El Soroche que iniciaron en 2001, los mismos que causan cambios en la calidad del agua del río Machángara, aumentando la concentración hierro y manganeso.

2.7.1. Pre-oxidación



Ilustración 4. Tubería de dosificación de Permanganato de Potasio en la PTAP Tixán II.

Desde el 2008 en la PTAP se utiliza un proceso de oxidación química para remoción de manganeso, mediante la adición de permanganato de potasio, el cual es aplicado en solución durante la captación de agua cruda [41].

Actualmente para el proceso de dosificación de permanganato de potasio se realiza una medición diaria de la concentración manganeso en el agua cruda y de acuerdo con esto se dosifica la cantidad necesaria para eliminar el manganeso presente, no se realiza más mediciones durante el día. Se dosifica $2.5 \mu\text{g}$ de permanganato de potasio por cada $1 \mu\text{g}$ de manganeso. Si bien el valor estequiométrico es de $1.92 \mu\text{g}$, el valor dosificado responde a la oxidación de la materia orgánica presente, que actúa incrementando la dosis de oxidante y tiempo de reacción; por otro lado, la disminución de pH y temperatura, actúan retardando la reacción de oxidación [42].

2.7.2. Mezcla rápida hidráulica



Ilustración 5. Canal de mezcla rápida en la PTAP Tixán II.

La mezcla rápida consiste en un canal de sección constante, donde su solera cambia de pendiente de una muy pronunciado a una nula, provocando un resalto hidráulico con una alta intensidad de agitación para promover la coagulación de las partículas coloidales, sustancias húmicas y microorganismos. El desempeño de la planta dependerá principalmente de este proceso ya que aquí se garantiza las condiciones para la floculación y para la posterior remoción de los flóculos en las etapas de sedimentación y filtración.

2.7.3. Floculadores hidráulicos de flujo vertical



Ilustración 6. Floculadores hidráulicos de flujo vertical de la PTAP Tixán II.

Dispone de cuatro líneas de floculación en paralelo para facilitar su mantenimiento. La unidad de reparto consiste en una cámara con vertederos frontales de descarga libre. Se usa agitación controlada para promover la formación de los flóculos. Se usa polímero PRAESTOL 650 TR, el mismo que se usa en el resto de las plantas de potabilización operadas por ETAPA EP y que ha dado excelentes resultados. La dosificación media de polímero esta entre 0.05 y 0.08 mg/L , y se aplica 5 minutos después de iniciada la floculación, debido a que es necesario la formación de un micro flóculo.

2.7.4. Decantación



Ilustración 7. Decantadores de placas planas paralelas inclinadas de la PTAP Tixán II.

Es del tipo de alta tasa con un sistema de placas planas paralelas e inclinadas espaciadas a distancias menores a 10 cm. permitiendo un flujo laminar y alta eficiencia de remoción. Dispone de un sistema de distribución uniforme de caudal a las unidades en paralelo e internamente en cada unidad. Cuentan con un sistema de recolección del efluente y el lodo sedimentado en las tolvas de estas unidades

2.7.5. Filtración



Ilustración 8. Filtros de la PTAP Tixán II.

Está constituido por una batería de filtros rápidos de lecho mixto conformados por antracita y arena que opera mediante el método de tasas declinantes variables (FTDV), siendo el método más avanzado de operación para garantizar una alta eficiencia de remoción, mayor duración de las carreras de filtración y economía en el lavado. El sistema de lavado es de tipo celular en el que se aprovecha una fracción del agua producida y las condiciones hidráulicas generadas en el mismo sistema de filtración. Los fondos falsos de los filtros son bloques duales de polietileno de alta densidad, que garantizan la distribución uniforme de aire y agua.

2.7.6. Desinfección



Ilustración 9. Cámara de contacto de cloro de la PTAP Tixán II.

El módulo II de PTAP cuenta con dos cámaras de contacto de cloro independientes que facilitan la limpieza de una mientras la otra está en funcionamiento, evitando que el módulo suspenda su operación. Las unidades se encuentran luego de la batería de filtros y están constituidas por un laberinto de tabiques que garantiza un flujo de tipo pistón para un contacto uniforme con el cloro. El distribuidor de la solución de cloro se ubica en la base de la cámara y en el primer canal de que recepta los efluentes de los filtros. El tiempo de contacto para el caudal nominal del módulo resulta en 18.5 minutos siendo un tiempo efectivo para la eliminación de bacterias virus y protozoos.

2.7.7. Almacenamiento

La norma nacional indica que los centros de reserva proyectados contemplarán la atención de las necesidades propias de la PTAP, La regulación de caudal del sistema de distribución será cubierta por las reservas ubicadas en varios sitios de la ciudad Para cubrir el déficit de volumen de reserva interno de la PTAP Se construyen los tanques de reserva R3, y R4 a continuación de las cámaras de contacto de cloro y la reserva R5, junto el edificio de cloración. Las características de estas unidades se presentan en la siguiente tabla [41].

Tabla 5. Dimensiones de las reservas R3, R4 y R5 en el interior de la PTAP [41].

Denominación	Dimensiones [m]			Volumen [m ³]
	Ancho	Largo	Altura agua	
Reserva 3	26.9	15.1	3.7	1502.90
Reserva 4	26.9	15.1	3.7	1502.90
Reserva 5	28	20	4.7	2632.00
Volumen total de reservas				5637.81

CAPÍTULO 3.

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Normativa y pruebas para componentes, materiales e instalaciones industriales.

Los componentes, materiales, equipos, instalaciones industriales y enlaces de comunicación de los tableros de fuerza, control y telecomunicaciones estuvieron sujetos a las Pruebas de Aceptación de Fábrica (FAT) y a las Pruebas de Aceptación en Sitio (SAT) que determinó la Fiscalización en la fase de implementación según se puede observar en la sección 4. de este documento y a normativa internacional en su última versión descrita a continuación en los estándares que aplique [43].

- NEC National Electric Code
- ISA RP60.8 Electrical Guide for Control Centers
- Guías IEEE para la Documentación del Software de Computadora para tiempo Real y Sistemas Interactivos
- ICS – NEMA National Electrical Manufacturer’s Association - Industrial Control and Systems
- IEEE 802.11; IEEE 802.3 Estándar de comunicaciones de la IEEE
- ANSI/TIA/EIA-569 Commercial Building Standards for Telecommunications Pathways and Spaces
- ANSI/J-STD-607 Grounding and Bonding Requirements for Telecommunications in Commercial Buildings
- ANSI/TIA/EIA-568 Commercial Building Telecommunications Cabling Standard
- ANSI/TIA/EIA 569-C Commercial Building Standard for Telecommunications Pathways and Spaces

- ISO 3511-3 Process Measurement Control Functions and Instrumentation - Symbolic Representation
- ICS-1 Estándares Generales para Sistemas y Control Industrial.
- ICS-2 Estándares para Dispositivos de Control Industrial, Controladores y Partes.
- ICS-4 Bloques Terminales para Sistemas y Equipos de Control Industrial.
- IEC 60950 Safety of information technology equipment including electrical business equipment
- IEC 62368 Audio/video, information, and communication technology equipment - Part 1: Safety requirements
- UL 1666 Test for Flame Propagation Height of Electrical and Optical-Fiber Cables Installed Vertically in Shafts
- RoHS Restriction of Hazardous Substances directive 2002/95/CE
- IEC60909 - VDE 0102 - NFC 15-100 guide C15-105 Calculation of short-circuit currents
- IEEE Std. 1100-1999 IEEE Recommended Practice for Powering and Grounding Electronic Equipment
- ANSI C57.12.00 IEEE Standard General Requirements for liquid Immerse Distribution, Power and Regulating Transformers
- ANSI C57.12.26 Pad Mounted Compartmental-Type Self Cooled Three-Phase Distribution Transformers for Use with Separable Insulated High Voltage, 34500 Grd Y/19920 Volts and Below, 2500 kVA and Smaller
- ANSI C.57.28 Switchgear and Transformers – Pad Mounted Equipment – Enclosure Integrity
- ANSI C57.12.90 IEEE Standard Test Code for Liquid Immersed, Distribution, Power, and Regulating Transformers and IEEE Guide for Short – Circuit Testing of Distribution and Power Transformers

- ANSI C37.71 Standard for Three – Phase, Manually Operated Subsurface Load Interrupting Switches for Alternating – Current Systems
- IEEE 386 Standard for Separable Insulated Connector Systems for Power Distribution Systems Above 600 V
- ASTM D3487 Standard Specification for Mineral Insulating Oil Used in Electrical Apparatus
- MIL-STD-81 Department of Defense Test Method Standard: Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests

Las pruebas FAT y/o SAT, de acuerdo con los procedimientos de prueba aprobados por la Fiscalización y el Contratante, abarcó la simulación de todas las señales de entrada y la confirmación de señales y lecturas de salida, así como la confirmación de su transmisión libre de errores y con la latencia prevista. Se introdujeron fallas para verificar las alarmas y la funcionalidad de los lazos de control y fallas de comunicación [43].

Las pruebas incluyeron el cumplimiento de la integridad y todas las funcionalidades, especificaciones y características previstas en las secciones 3.2 y 3.3 del presente capítulo. Se preparó una configuración de prueba apta para simular el comportamiento y la funcionalidad de este:

- Alimentación eléctrica
- Alimentación eléctrica de respaldo
- Simuladores de señales discretas, incluidas aquellas de falla y/o alarma
- Señales de instrumentación
- Performance de los equipos y enlaces
- Lectura de datos en pantalla y espacios de memoria

3.2. Requerimientos de funcionamiento

3.2.1. Requerimientos y Especificaciones del Proceso de Control de Manganeso

Para términos de diseño y caracterización de equipos se ha realizado una división del proceso relacionado a la medición y control de manganeso mediante sus tableros de fuerza y control requerido, mismos que se detallan a continuación. Los aspectos y consideraciones específicas son tomadas de los documentos “FILOSOFÍA DE CONTROL DE LA NUEVA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE TIXÁN CONTRATO DE CONSULTORÍA N° 08-2015” y “ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS DE FUERZA, CONTROL, INSTRUMENTACIÓN, TELECOMUNICACIONES Y MONITOREO PARA LA NUEVA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE TIXÁN CONTRATO DE CONSULTORÍA NÚMERO 08-2015” [43] [44].

3.2.1.1. TC-Mn

La etapa de control de manganeso es la más amplia en términos de dimensiones y equipos, inicialmente se dispone el ingreso de agua cruda a la PTAP Tixán, la cual se encuentra diseñada para tener un máximo de $1000 L/h \pm 10\%$, esta etapa básicamente controla el ingreso de un caudal a la planta, mismo que se encuentra relacionado a una consigna de ingreso C1.1. Además, cuenta con dos tanques de remoción de Mn, mismos que se encuentran después de la etapa de ingreso y a su salida se divide en un tanque para cada módulo de la PTAP. En este tanque se deberá controlar mediante instrumentación de nivel y caudal, las adecuadas relaciones entre el caudal de ingreso y los caudales de salida, así como los sistemas de seguridad para niveles bajos y muy bajos. En esta etapa también se debe medir la concentración de Manganeso al ingreso de los tanques de remoción y el control de los aireadores sumergibles en cada tanque [44].



Ilustración 10. Tanques de remoción de Manganeseo PTAP Tixán ETAPA EP.

De igual manera la salida de agua de los tanques de remoción de Manganeseo a los módulos correspondientes Se debe controlar actuadores de salida mediante lazo cerrado utilizando sensores de caudal y las consignas C1.2(módulo I) y C1.3(módulo II) ingresadas por los operadores [43] [44].

3.2.1.2. TC-Do

La etapa de control de dosificación complementa a la anterior, es por ello que mediante los valores de concentración de manganeseo en el agua cruda al ingreso a los tanques de remoción se deberá calcular la concentración del químico oxidante (permanganato de potasio (KMnO_4) en solución requerida; sin embargo, esta concentración estará en función de la rotación de un motor de dosificación, debido a que el KMnO_4 de suministro es granulado, por lo tanto se deberá diseñar un sistema que permita el control la dosificación de acuerdo a los valores de concentración de manganeseo, aprovechando los contenedores, tolva, tronillo transportador y cuba de solución con los que cuenta la empresa actualmente para las diferentes etapas de preparación y bombeo de químico en función de las necesidades. Se contará con unidades de bombeo independientes que distribuirán el químico oxidante a cada tanque de remoción de Mn y se deberán tener en cuenta la circuitería y sistemas de seguridad para niveles bajos, muy bajos o inexistencia de la sustancia en cualquiera de sus dos estados [43].



Ilustración 11. Tubería proveniente de bombas de dosificación de KMnO_4 .

3.2.2. Requerimientos y Especificaciones de Dosificación de KMnO_4

En el proceso de dosificación intervienen variables de toda la planta, la oxidación del manganeso es un proceso que ocurre a lo largo de la producción de agua potable, debido a que, a lo largo de ésta, está en contacto con el oxígeno del aire, sin embargo la mayor reacción ocurre luego de la dosificación del oxidante (KMnO_4), el agua pasa a través de los aireadores que introducen más oxígeno para acelerar la oxidación y que al momento de ingresar en la etapa de floculación se forme la mayor cantidad óxido de manganeso posible [44].

Para el proceso de remoción de Manganeso y dosificación de permanganato de potasio, entran en consideración 3 variables: la concentración de Manganeso en el agua que viene dada en $\mu\text{g}/\text{l}$, el caudal de entrada a la planta cuyas unidades se presentan en l/s y un factor adimensional de dosificación.

3.2.2.1. Concentración de Manganeso

En la etapa de captación de agua se mide la cantidad de manganeso que se encuentra en el agua, de momento esta medición la realiza el laboratorio de la planta mediante un equipo de espectrofotometría; no obstante, el objetivo es que el analizador de procesos Metrohm 2035 realice un monitoreo y medición continua de la concentración del manganeso. Esta medida se ingresará al sistema en sus unidades que representan la

cantidad de masa de manganeso en microgramos por cada litro de agua ($\mu g/l$). El registro de esta medición muestra que los valores pueden oscilar entre 20 μg y 450 μg de acuerdo con el jefe de la PTAP, Ing. Juan Diego Espinoza.

3.2.2.2. Caudal de entrada

El caudal de entrada corresponde a la cantidad de agua medida en litros que ingresa a los módulos I y II de la PTAP por cada segundo. El caudal máximo corresponde al caudal de operación nominal de la PTAP que es de 1940 l/s ; por motivos de operación e instrumentación se ha fijado como máximo los 2000 l/s . El caudal mínimo de operación de la planta es de 150 l/s . Este caudal aumenta en intervalos de 50 l/s dependiendo de las características del agua cruda y requerimientos de producción de la planta.

3.2.2.3. Factor de dosificación

Este factor corresponde a la estequiometría de la reacción química entre el manganeso (Mn) y el permanganato de potasio ($KMnO_4$) y de variables propias de la operación de la PTAP. El valor del factor está sujeto a cambios de acuerdo con variables ambientales, estado de operación de la PTAP, procesos de producción activos y consideraciones estructurales. Al momento el jefe de planta ha indicado que el factor utilizado tiene un valor igual a dos.

3.2.2.4. Dosificación del oxidante

El oxidante utilizado es permanganato de potasio ($KMnO_4$) este químico se presenta en forma granular, sin embargo, no se garantiza el estado de este ya que puede o no existir presencia de humedad. El valor de dosificación viene dado en cantidad de masa del oxidante por cada segundo ($\mu g/s$), este valor se obtiene de la interacción de las variables mencionadas anteriormente como sigue:

$$\begin{aligned} & \text{factor} \cdot \text{Concentración de manganeso} \left[\frac{\mu g}{l} \right] \cdot \text{Caudal} \left[\frac{l}{s} \right] \\ & = \text{caudal del oxidante} \left[\frac{\mu g}{s} \right] \end{aligned}$$

El resultado de esta operación determina la cantidad de material oxidante que se necesita para la remoción del manganeso de acuerdo con el caudal en el momento de la medición. Por lo tanto, de acuerdo con los datos proporcionados por el personal de la

PTAP Tixán la cantidad por unidad de tiempo de KMnO_4 que se necesitará para remover el manganeso oscila entre:

$$2 \cdot 20 \left[\frac{\mu\text{g}}{\text{l}} \right] \cdot 150 \left[\frac{\text{l}}{\text{s}} \right] = 6 \left[\frac{\text{mg}}{\text{s}} \right]$$

$$2 \cdot 450 \left[\frac{\mu\text{g}}{\text{l}} \right] \cdot 2000 \left[\frac{\text{l}}{\text{s}} \right] = 1.8 \left[\frac{\text{g}}{\text{s}} \right]$$

El mismo que será entregado por el sistema de dosificación.

3.3. Requerimientos y Especificaciones del Diseño

La empresa ETAPA EP, define los requerimientos mínimos del equipo, materiales y normas los cuales se van a especificar de acuerdo con los tableros, equipos particulares y sistemas adyacentes [43].

3.3.1. Tablero CCM-Mn

El tablero CC-Mn corresponde a fuerza, protección y control de motores de las unidades sumergibles de aireación y actuadores de válvulas y compuertas de ingreso y de salida a las piscinas de oxigenación. El equipo básico a contener este tablero se muestra en la siguiente tabla [43] [44].

Tabla 6. Componentes del Tablero de CCM – Mn

Tablero CC-Mn		
Descripción	Cantidad	Observaciones
Gabinete metálico.	2	Hierro e=1.5mm, tipo interior, IP51, dimensiones 0.6 x 0.8 x 2.10 m.
Supervisor de voltaje electrónico (1 NO, 1 NC)	1	
Disyuntor magneto térmico tripolar.	1	Caja moldeada, rango ajustable térmico, 50 - 63 A, fijo magnético 600 A, 690 Vac, 25 kA@ 460 Vac, terminales para conexión.
Guardamotor tripolar de rango ajustable térmico.	10	5.5 - 8 A, fijo magnético 104 A, 690 Vac, 50kA@460V.
Guardamotor tripolar de rango ajustable térmico.	11	3.5 - 5.0 A, fijo magnético 65 A, 690 Vac, 50kA@460V.
Guardamotor tripolar de rango ajustable térmico,	2	1.8 - 2.5 A, fijo magnético 33 A, 690 Vac, 50kA@460V.
Relé bimetálico de sobre carga térmica.	10	Tripolar de rango ajustable 5.5 - 8.0 A, 690 Vac, Clase 10.
Contactador tripolar.	10	9 A @ AC3, 22 A @ AC1, Voltaje de control 120 Vac, 690 Vac, clase 10.

Condensador trifásico.	10	2kVAR@460 Vac con resistencias de descarga.
Lampara de señalización industrial metálica LED.	10	24Vdc color rojo.
Lampara de señalización industrial metálica LED.	10	24Vdc color verde.
Lampara de señalización industrial metálica LED.	2	24Vdc color ámbar.
Pulsador industrial de marcha NO	10	
Pulsador industrial de paro NC	10	
Borne de 1 polo con tornillo.	20	40 A, hasta N°10 AWG, incluye marquillas tipo Head Shrink Tubing.
Material Menudo.	1	Rail DIN, cables de conexión, barras de Cu, iluminación interior, sistemas de ventilación, terminales, marquillas, amarras, tornillos, tuercas, policarbonato de protección, señalética, etc.

3.3.2. Tablero CCM-Do

Los tableros TC-Do corresponden a fuerza, protección y control de los motores de las unidades de preparación y dosificación de los diferentes químicos utilizados a lo largo del proceso de tratamiento de agua, en este caso el presente documento se centra en la dosificación de permanganato de potasio $KMnO_4$, el cual debe ser instalado en la bodega de sustancias químicas en el edificio administrativo. El equipo básico que deben contener los tableros se muestra en la tabla a continuación [43] [44].

Tabla 7. Componentes del Tablero de CCM – Do

Tablero CCM-Do		
Descripción	Cantidad	Observaciones
Gabinete metálico.	1	Hierro e=1.5mm, tipo interior, IP51, dimensiones 0.8 x 0.8 x 2.10 m.
Supervisor de voltaje electrónico (1 NO, 1 NC)	1	
Disyuntor Magneto térmico tripolar caja moldeada.	1	Rango ajustable térmico, 20 - 25 A, fijo magnético 300 A, 690 Vac, 25 kA@ 460 Vac, terminales para conexión.
Guardamotor tripolar de rango ajustable térmico.	10	5.5 - 8 A, fijo magnético 104 A, 690 Vac, 50kA@460V.
Guardamotor tripolar de rango ajustable térmico.	4	3.5 - 5.0 A, fijo magnético 65 A, 690 Vac, 50kA@460V.
Guardamotor tripolar de rango ajustable térmico.	4	2.8 - 4.0 A, fijo magnético 52 A, 690 Vac, 50kA@460V.
Guardamotor tripolar de rango ajustable térmico.	2	2.2 - 3.2 A, fijo magnético 42 A, 690 Vac, 50kA@460V.
Guardamotor tripolar de rango ajustable térmico.	2	1.8 - 2.5 A, fijo magnético 33 A, 690 Vac, 50kA@460V.
Guardamotor tripolar de rango ajustable térmico.	4	1.4 - 2.0 A, fijo magnético 26 A, 690 Vac, 50kA@460V.
Guardamotor tripolar de rango ajustable térmico.	2	1.1 - 1.6 A, fijo magnético 21 A, 690 Vac, 50kA@460V.
Relé bimetálico de sobre carga térmica.	10	Tripolar de rango ajustable 1.1 - 1.6 A, 690 Vac, Clase 10.

Variador de frecuencia compacto.	4	3kW@ 460Vac, par cuadrático, 3000msnm, 6 DI's, 2 DO's, 1 AI, 1 AO, interfaz de comunicación esclavo RS485, bus de campo industrial, Filtro Clase A, Panel de operador avanzado montado en puerta, 2Gb de memoria externa.
Variador de frecuencia compacto.	2	2.25kW@ 460Vac, par cuadrático, 3000msnm, 6 DI's, 2 DO's, 1 AI, 1 AO, interfaz de comunicación esclavo RS485, bus de campo industrial, Filtro Clase A, Panel de operador avanzado montado en puerta, 2Gb de memoria externa.
Variador de frecuencia compacto.	5	1kW@ 460Vac, par cuadrático, 3000msnm, 6 DI's, 2 DO's, 1 AI, 1 AO, interfaz de comunicación esclavo RS485, bus de campo industrial, Filtro Clase A, Panel de operador avanzado montado en puerta, 2Gb de memoria externa.
Lampara de señalización industrial metálica LED.	2	24Vdc color rojo.
Lampara de señalización industrial metálica LED.	9	24Vdc color verde.
Lampara de señalización industrial metálica LED.	3	24Vdc color ámbar.
Pulsador industrial de marcha NO	9	
Pulsador industrial de paro NC	9	
Borne de 1 polo con tornillo.	20	40 A, hasta N°10 AWG, incluye marquillas tipo Head Shrink Tubing.
Material Menudo.	1	Rail DIN, cables de conexión, barras de Cu, iluminación interior, sistemas de ventilación, terminales, marquillas, amarras, tornillos, tuercas, policarbonato de protección, señalética, etc.

3.3.3. Tablero TC-Mn

El tablero TC-Mn corresponden al control manual/remoto/automático del sistema de control de las unidades de aireación sumergibles y los actuadores de válvula y compuerta correspondientes al tablero CCM-Mn, mismo que debe ser instalado junto a este. El equipo básico que deben contener los tableros se muestra en la tabla a continuación [43] [44].

Tabla 8. Componentes del Tablero de TC – Mn

Tablero TC-Mn		
Descripción	Cantidad	Observaciones
Gabinete metálico	1	Hierro e=1.5mm, tipo interior, IP51, dimensiones 0.6 x 0.8 x 2.10 m
Supervisor de voltaje electrónico (1 NO, 1 NC)	1	
Unidad pot ininterrumpible online.	1	1.5KW, 127 V, montaje rack.
Unidad por ininterrumpible DC online.	1	Respaldada de capacitores de 200W, 24/24 Vdc, 8 A.
Fuente de poder conmutada modular.	1	Entrada 120/230 Vac, salida 24 Vdc, 240 W, 10 A.
Transformador de aislamiento galvánico.	1	Tipo Seco 1.5kVA, relación 127/115 Vac.
Controlador lógico programable.	1	1 CPU, 150 Kbytes, 48 entradas digitales 24 Vdc, 24 salidas digitales 250 Vac a relé, switch, 2 puertos RJ45 ethernet industrial, 1 puerto RS485 (maestro), protocolo bus de campo industrial, memoria de expansión 24 Mb.
Panel HMI.	1	Pantalla 256 colores, 10.4", 640x480 pixeles de resolución, táctil, retroiluminado MTBF 50000 horas, interfaz RJ45 ethernet industrial, 500 variables, 50 pantallas de proceso, 200 alarmas, curvas de tendencia, históricos y scripts.
Interruptor termomagnético 1 polo	12	Para Rail DIN, curva de disparo tipo C, 2 A, capacidad de ruptura 6kA@220 Vac.
Interruptor termomagnético 1 polo	4	Para Rail DIN, curva de disparo tipo C, 4 A, capacidad de ruptura 6kA@220 Vac.
Interruptor termomagnético 1 polo	1	Para Rail DIN, curva de disparo tipo C, 16 A, capacidad de ruptura 6kA@220 Vac.
Interruptor termomagnético 2 polo	2	Para Rail DIN, curva de disparo tipo C, 1 A, capacidad de ruptura 6kA@220 Vac.
Interruptor termomagnético 2 polo	3	Para Rail DIN, curva de disparo tipo C, 2 A, capacidad de ruptura 6kA@220 Vac.
Interruptor termomagnético 2 polo	1	Para Rail DIN, curva de disparo tipo C, 10 A, capacidad de ruptura 6kA@220 Vac.
Interruptor termomagnético 2 polo	1	Para Rail DIN, curva de disparo tipo C, 16 A, capacidad de ruptura 6kA@220 Vac.
Relé industrial universal	4	24 Vdc, 2 contactos NO + 1 contacto NC, incluida la base.
Relé industrial universal	2	24 Vdc, 4 contactos NO + 1 contacto NC, incluida la base.
Relé industrial universal	2	120 Vdc, 4 contactos NO + 2 contacto NC, incluida la base.
Lampara de señalización industrial metálica LED.	9	24Vdc color rojo.

Lampara de señalización industrial metálica LED.	1	24Vdc color ámbar.
Pulsador industrial de marcha NO	3	
Pulsador de emergencia.	1	Tipo hongo NO con retención y liberador mecánico
Pulsador de emergencia.	1	Tipo hongo NC con retención y liberador mecánico
Selector rotativo metálico	1	3 posiciones I - 0 - II, contactos NO, capacidad 8 A resistivo, 2 A inductivo.
Protector de sobretensión TVSS	1	Riel DIN, para red eléctrica, 3 polos, 120/240 Vac.
Baliza acústica	1	100 dB, luminosa LED, rojo intermitente, verde permanente.
Borne de 1 polo con tornillo.	20	40 A, hasta N°10 AWG, incluye marquillas tipo Head Shrink Tubing.
Material Menudo.	1	Rail DIN, cables de conexión, barras de Cu, iluminación interior, sistemas de ventilación, terminales, marquillas, amarras, tornillos, tuercas, policarbonato de protección, señalética, etc.

3.3.4. Tablero TC-Do

Tabla 9. Componentes del Tablero de TC – Do

Tablero TC-Do		
Descripción	Cantidad	Observaciones
Gabinete metálico	1	Hierro e=1.5mm, tipo interior, IP51, dimensiones 0.6 x 0.8 x 2.10 m
Supervisor de voltaje electrónico (1 NO, 1 NC)	4	
Unidad pot ininterrumpible online.	1	1.5KW, 127 V, montaje rack.
Unidad por ininterrumpible DC online.	1	Respaldada de capacitores de 200W, 24/24 Vdc, 8 A.
Fuente de poder conmutada modular.	1	Entrada 120/230 Vac, salida 24 Vdc, 240 W, 10 A.
Transformador de aislamiento galvánico.	1	Tipo Seco 1.5kVA, relación 127/115 Vac.
Controlador lógico programable.	1	1 CPU, 150 Kbytes, 64 entradas digitales 24 Vdc, 24 salidas digitales 250 Vac a relé, switch, 2 puertos RJ45 ethernet industrial, 1 puerto RS485 (maestro), protocolo bus de campo industrial, memoria de expansión 24 Mb.
Panel HMI.	1	Pantalla 256 colores, 10.4", 640x480 pixeles de resolución, táctil, retroiluminado MTBF 50000 horas, interfaz RJ45 ethernet industrial, 500 variables, 50 pantallas de proceso, 200 alarmas, curvas de tendencia, históricos y scripts.
Interruptor termomagnético 1 polo	10	Para Rail DIN, curva de disparo tipo C, 2 A, capacidad de ruptura 6kA@220 Vac.

Interruptor termomagnético 1 polo	5	Para Rail DIN, curva de disparo tipo C, 4 A, capacidad de ruptura 6kA@220 Vac.
Interruptor termomagnético 1 polo	1	Para Rail DIN, curva de disparo tipo C, 16 A, capacidad de ruptura 6kA@220 Vac.
Interruptor termomagnético 2 polo	2	Para Rail DIN, curva de disparo tipo C, 1 A, capacidad de ruptura 6kA@220 Vac.
Interruptor termomagnético 2 polo	10	Para Rail DIN, curva de disparo tipo C, 2 A, capacidad de ruptura 6kA@220 Vac.
Interruptor termomagnético 2 polo	2	Para Rail DIN, curva de disparo tipo C, 10 A, capacidad de ruptura 6kA@220 Vac.
Interruptor termomagnético 2 polo	1	Para Rail DIN, curva de disparo tipo C, 16 A, capacidad de ruptura 6kA@220 Vac.
Contactador tripolar.	8	7 A @ AC3, 18 A @ AC1, voltaje de control 120 Vac, 690 Vac, incluye 3contactos auxiliares NO.
Relé industrial universal	6	24 Vdc, 4 contactos NO + 1 contacto NC, incluida la base.
Relé industrial universal	2	120 Vdc, 4 contactos NO + 2 contacto NC, incluida la base.
Lampara de señalización industrial metálica LED.	6	24Vdc color rojo.
Lampara de señalización industrial metálica LED.	1	24Vdc color ámbar.
Pulsador industrial de marcha NO	3	
Pulsador de emergencia.	4	Tipo hongo NO con retención y liberador mecánico
Pulsador de emergencia.	4	Tipo hongo NC con retención y liberador mecánico
Selector rotativo metálico	4	3 posiciones I - 0 - II, contactos NO, capacidad 8 A resistivo, 2 A inductivo.
Protector de sobretensión TVSS	1	Riel DIN, para red eléctrica, 3 polos, 120/240 Vac.
Baliza acústica	1	100 dB, luminosa LED, rojo intermitente, verde permanente.
Borne de 1 polo con tornillo.	10	40 A, hasta N°10 AWG, incluye marquillas tipo Head Shrink Tubing.
Material Menudo.	1	Rail DIN, cables de conexión, barras de Cu, iluminación interior, sistemas de ventilación, terminales, marquillas, amarras, tornillos, tuercas, policarbonato de protección, señalética, etc.

El tablero TC-Mn corresponde al control manual/remoto/automático del sistema de control de las unidades de preparación y dosificación del permanganato de potasio, este tablero controla los elementos correspondientes al tablero CCM-Do, razón por la que debe ser instalado junto a este. El equipo básico que deben contener el tablero se muestra en la tabla 9 [43] [44].

3.3.5. Requerimientos particulares

Los equipos y sistemas deben contar con especificaciones mínimas, para garantizar el funcionamiento de la planta, estas especificaciones determinarán los equipos a utilizar dentro del proyecto.

La estructura donde se arman los tableros necesita algunas especificaciones de calidad, para que la posición de los equipos, el cableado esté ordenado y tenga fácil acceso y que se pueda añadir seguridades como cerrojos. En la tabla se muestra las especificaciones mínimas [43].

Tabla 10. Características mínimas para el gabinete metálico

Gabinete metálico.	
Características mínimas exigibles:	
Formas	Paralelepípedo
Instalación	Interior conforme se indica en planos de detalle de tableros
SopORTE estructural	Perfil estructural alivianado cuando sus dimensiones superen un metro en vertical u horizontal o para separación de celdas.
Dimensiones	Las indicadas en planos y presupuesto adecuadas en función del tamaño de los equipos suministrados a instalarse en el interior.
Material de lamina	Chapa de acero inoxidable AISI 304 de 2.0 mm de espesor para armario, 2.5 mm para puerta y 3.0 mm para placa inferior de montaje e ingreso de cables
Encapsulamiento	IP 55 según EN 60 529, Cumple NEMA 12
Sellado de puertas	Mediante caucho empaque rudón
Cerraduras para celdas	Tipo manija con llave
Ingreso/salida de cables	Inferior, superior, lateral.
Sistema de enfriamiento/calentamiento	Forzado mediante ventilador/resistencias de calorifugado + ventilador
Barras de Cobre	Conforme las capacidades indicadas en el diagrama unifilar, el código de colores para barras activas y pasivas en AC y DC deberá ceñirse a lo establecido en el estándar IEC 60445 (2010) " <i>Basic and safety principles for man-machine interface, marking and identification – Identification of equipment terminals, conductor terminations and conductors</i> ".
Aprobaciones	UL; CSA; TÜV; Germanischer Lloyd; Norske Veritas; Russian Maritime Register of Shipping; Lloyds Register of Shipping; Bureau Veritas; VDE
Adicionales	Placas indicadoras de baquelita con relieve de: cada equipo interno de protección incluidos termo magnéticos, maniobra y control; cada automática; cada HMI; cada luminaria y pulsador; cada celda y cada tablero.
	Letreros adhesivos de precaución, personal autorizado y tensión del tablero.
	Porta planos metálico en puertas conteniendo planos As Built de fuerza y control debidamente plastificados

Las fuentes de potencia ininterrumpida (UPS) son equipos que garantizan el abastecimiento de potencia necesaria para todos los equipos conectados a él, por este motivo se presenta las especificaciones con las que debe contar este equipo para que abastezca al sistema. En la primera tabla se muestra las especificaciones para un UPS AC/AC y en la siguiente para DC/DC [43].

Tabla 11. Especificaciones mínimas para la unidad de potencia ininterrumpible AC/AC

Unidad de potencia ininterrumpible AC/AC	
Características mínimas exigibles:	
Tipo	On-line
Formato	Rack 19"
Potencia de salida	La indicada en planos
Tensión de entrada	120 ± 10% Vac monofásico
Tensión de salida	120 ± 1% Vac monofásico
Frecuencia de entrada	60 ± 5% Hz
Frecuencia de salida	60 ± 0.1 Hz
Forma de onda de salida	Sinusoidal de baja distorsión
Factor de potencia	≥ 0.9
Tiempo de respaldo	≥ 0.5 horas ininterrumpidas a plena carga
Tiempo de recarga de baterías	2 a 5 horas a partir de descarga total
Nivel de ruido	< 35 dB a 1 metro de distancia
Protecciones	Disparador de sobrecarga a la entrada, supresión de transientes de voltaje, limitación de corriente a la salida, disparador de sobrecarga a la salida.
Tipo de baterías	Secas, selladas, recargables y libres de mantenimiento
Señalizador visual y acústico de mensajes de fallo, estado de baterías, conexión inversa, porcentaje de carga	Disponible
Software integrado mediante puerto RJ45 UPS-PC diagnosticador de estado.	Disponible
Contactos secos de señalización e integración a sistemas de monitoreo disponibles:	Carga del banco de baterías FALLA
	Operación del equipo FALLA
	En modo de carga de baterías
	En modo suministro desde baterías
Encapsulamiento frontal	IP23
	Temperatura ambiente de trabajo
Altitud de trabajo	3.000 msnm
Posición de montaje	Horizontal o vertical
Normas constructivas	Verificación EMC FCC/DOC, Clase A
Adicionales	Catálogos detallados

Tabla 12. Especificaciones mínimas para la unidad de potencia ininterrumpible DC/DC

Unidad de potencia ininterrumpible DC/DC	
Características mínimas exigibles:	
Tipo	DC / DC respaldada por capacitor
Formato	Montaje en Rail DIN
Potencia de salida	200 W
Tensión de entrada	24.0 Vdc nominal, rango desde 22.0 a 29.0 Vdc
Umbral de conexión límite para respaldo	22.5 Vdc \pm 0.1 Vdc
Corriente de entrada	8.33 A
Tiempo de respaldo	Hasta 10 minutos, ajustable por software o DIP switch de acuerdo con la carga
Tensión de salida en operación normal	24 Vdc \pm 3%
Tensión de salida en modo respaldo	24 Vdc \pm 3%
Corriente de salida	8.00 A
Corriente de carga	1.00 a 2.00 A
Tiempo de recarga de capacitores	\leq 6 minutos
Eficiencia	\geq 95 %
Nivel de ruido	< 35 dB a 1 metro de distancia
Protecciones	Polaridad inversa, sobrecarga, corto circuito, circuito abierto.
Contactos secos de señalización e integración a sistemas de monitoreo disponibles:	Carga del banco de capacitores FALLA
	Operación del equipo FALLA
	En modo de carga de capacitores
	En modo suministro desde capacitores
Encapsulamiento frontal	IP20
	Temperatura ambiente de trabajo
Altitud de trabajo	3.000 msnm
Posición de montaje	Horizontal / Vertical
Normas constructivas	EN 61000-6-2, CE, cULus
Adicionales	Catálogos detallados

El CPU del controlador lógico programable es el equipo que comanda todo el sistema, realiza los cálculos de todas las operaciones y procesa la información adecuadamente para que el sistema funcione. Entre las características se menciona la velocidad de procesamiento, memoria de trabajo, funciones, puertos de comunicación que debe poder manejar el CPU [43].

Tabla 13. Características mínimas para el CPU de 150Kbytes del PLC

Controlador lógico programable CPU 150 Kbytes	
Características mínimas exigibles:	
Tipo	Modular expandible
Memoria de trabajo integrada para programa	\geq 150 Kbytes
Memoria de trabajo integrada para datos	\geq 1 Mbytes
Memoria de expansión Datalogging	\geq 24 Gbytes
Respaldo libre de mantenimiento	Integrado
Pantalla / Teclas / Selector de modo para diálogo	3.45 cm diagonal / 6 / 1
Organización del programa	Lineal estructurada
Configuración del programa	Mediante sentencias, escalera y bloques lógicos. KOP, FUP, AWL, SCL, GRAPH

Juego de operaciones	Binarias, paréntesis, asignación de resultado, memorización, contaje, carga, transferencia, comparación, desplazar, rotar, formar complementos, llamada de bloques, aritmética en coma fija y flotante, funciones de salto
Funciones del sistema	Tratamiento de alarmas y errores, copia de datos, reloj en tiempo real, diagnóstico, parametrización de módulos, transiciones de estado operativo.
CPU - Bloques	≥ 1 Mbyte para DB's; 225 Kbyte para FB's; 225 Kbyte para FC's; 225 para OB's
Contadores / Temporizadores y su remanencia	≥ 2048 / 2048 con remanencia configurable, incluye contadores de alta velocidad
Alarmas configurables	≥ 5000
Áreas de datos remanentes	≥ 128 Kbyte
Marcas	≥ 16 Kbyte
Datos locales	4 bloques ≥ 16 Kbyte cada uno
Capacidad de Entradas / Salidas conectables / imágenes de subproceso	≥ 32 Kbyte / 32 Kbyte / 32
Objetos tecnológicos soportados	Motion (6 ejes de velocidad, 6 ejes de posicionamiento, 3 ejes de sincronismo, 6 encoder externos); Regulación PID (Compacto, 3 ejes, temporizado)
Tensión de alimentación	120 – 230 ±10% Vac
Frecuencia de alimentación	60 ± 5% Hz
Consumo nominal	≤ 700 mA @ 120 Vac
Consumo/pérdidas	≤ 46 W típico
CPU / tiempos de procesamiento típicos	≤ 60 n5 μs para operaciones de bits / 72 ns para operaciones de palabras / 96 ns para aritmética en coma fija / 384 ns para aritmética en coma flotante
Puertos de Comunicaciones	1RS485, 2 RJ45 en switch
Protocolos	BUS DE CAMPO INDUSTRIAL, TCP/IP
Interfase LAN maestro/esclavo	Disponible MAESTRO con capacidad de hasta 32 esclavos conectables
Procedimiento de transmisión	Maestro/esclavo conforme DIN 19245
Velocidad de transmisión	12 Mbits/seg; 100 Mbits/seg
Encapsulamiento	IP20
Temperatura ambiente de trabajo	0 a 50 °C
Humedad relativa	Hasta 95% sin condensación
Posición de montaje	Horizontal sobre riel DIN
Normas / homologaciones / certificados	CE, C-TICK, cULus, FM, ISO 9001
Adicionales	Suministro de paquete software de programación completo, incluye adiestramiento de personal
	Instalación, desarrollo, configuración, implementación, pruebas, puesta en servicio y funcionamiento.
	Licencias del software para programación, desarrollo y aplicación.
	Manual del equipo, manual del usuario y manual del software.
	Manual de la aplicación particular con sus respectivos diagramas de proceso y de programación.
	Planos.
	Catálogos detallados.

Las entradas digitales es el medio por el cual el CPU recolecta información del exterior y debe contener las especificaciones listadas en la siguiente tabla [43].

Tabla 14. Características mínimas para el módulo de entradas digitales a 24 Vdc

Módulo de entradas digitales a 24 Vdc	
Características mínimas exigibles:	
Cantidad de entradas	8 a 16, conforme lo indicado en planos
Tensión de entrada nominal	24 +- 10% Vdc
Retardo a la entrada con Vnom	0.2 a 12.8 ms
Consumo/pérdidas módulo 8 / 16 DI	≤ 1.5 / 2.5 W típico respectivamente
Intensidad de entrada	4 mA típico
Separación galvánica	Disponible vía optoacoplador entre canales en grupos de 4
Cantidad de entradas atacables simultáneamente	8 a 16 respectivamente
Señalización	Mediante led's
Longitud de cables sin pantalla	Hasta 300 m
Encapsulamiento	IP20
Temperatura ambiente de trabajo	0 a 60 °C
Posición de montaje	Vertical sobre riel DIN
Normas / homologaciones / certificados	CE, C-TICK, FM, ISO 9001
Adicionales	Catálogos detallados

Las salidas digitales constituyen el método por el cual el PLC se comunica y comanda otros equipos, también muestra al operario información determinada. Las características para el módulo de salidas digitales a relé 250 VAC son:

Tabla 15. Características mínimas para el módulo de salidas digitales a relé 250 Vac

Módulo de salidas digitales a relé 250 Vac	
Características mínimas exigibles:	
Cantidad de salidas mediante relés	8 a 16, conforme lo indicado en planos
Tensión de alimentación	24 Vdc
Tensión de manejo nominal	120/230 +- 10% Vac
Diferencia de potencial admisible	0.75 KVac, 1 minuto
Frecuencia	60 +- 10% Hz
Intensidad admisible de los contactos del relé ante carga inductiva	2 A típico
Durabilidad de los contactos del relé	10.000.000 ciclos de maniobra con tensión nominal
Separación galvánica	Disponible vía optoacoplador
Señalización	Mediante leds
Longitud de cables sin pantalla	Hasta 150 m
Encapsulamiento	IP20
Temperatura ambiente de trabajo	0 a 60 °C
Posición de montaje	Vertical sobre riel DIN
Normas / homologaciones / certificados	CE, C-TICK, FM, ISO 9001
Adicionales	Incluye relés de interfaz sin salida por comunes. Catálogos detallados

El PLC puede enviar información para que el operario esté al tanto de estado del sistema y pueda tomar decisiones al respecto, por lo que se debe contar con un periférico adecuado para mostrar y procesar toda la información importante y que se requiera. Un

panel HMI constituye una solución para observar y controlar distintas etapas del proceso y debe contener algunas características mínimas [43].

Tabla 16. Especificaciones mínimas para el panel HMI

Panel HMI	
Características mínimas exigibles:	
Tipo display	TFT 256 colores resistiva / capacitiva Touch
Área de imagen activa	Mínimo 5.7" y 10.4" respectivamente
Representación	Multicolor alta resolución retroiluminado
Idioma	Español
Resolución	320 x 240 y 640 x 480 píxeles respectivamente
MTBF de la retroiluminación	≥ 50.000 horas a 25° C
Teclado	≥ 4 teclas de membrana programables
Programación	Incluye desarrollo de aplicación particular.
Tensión de alimentación	24 ±10% Vdc
Memoria de usuario	Flash / RAM ≥ 500 kbytes para proyecto
Número de avisos	≥ 200
Número de recetas	≥ 5
Número de registros por receta	≥ 20
Número de entradas por registro	≥ 20
Memoria de recetas	≥ 40 kbytes en flash integrada
Sinópticos de proceso	≥ 50
Variables	≥ 500
Objetos dinámicos	Campos de entrada, salida, de entrada/salida y de fecha/hora, campos simbólicos de entrada/salida, barras, curvas, salida de figuras, etc.
Objetos gráficos	Mapas de bits, iconos, icono (pantalla completa), gráficos vectoriales
Grupos de usuario	≥ 50
Derechos de usuario	≥ 32
Interfaces, puertos integrados	RS232/TTY; RS422/RS485; RS232; RJ45; Conector para bus de campo; USB
Protocolos	BUS DE CAMPO INDUSTRIAL, IP
Reloj integrado hardware	Disponible respaldado por batería
Encapsulamiento frontal / posterior	IP65 / IP20
Temperatura ambiente de trabajo	0 a 50° C
Posición de montaje	Vertical sobrepuesto en tableros de control
Adicionales	batería de respaldo, software de configuración y visualización, desarrollo de la aplicación, manuales y capacitación
Normas / homologaciones / certificados	CE, UL, cULus, NEMA 4, NEMA 4x, NEMA 12

CAPÍTULO 4.

DISEÑO DEL SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE LA CONCENTRACION DE MANGANESO

4.1. Equipos y Materiales

Tabla 17. Listado de Equipos y Materiales utilizados en la propuesta.

Materiales		
Cant.	Descripción	Detalle
Control y Visualización		
2	Automata Programable S7-1511 PN	Control
3	Módulo de comunicación CP1542-5	Comunicación
7	Módulo de entradas digitales 6ES7521-1BH00-0AB0	Alarmas/Interrupciones
4	Módulo de salidas digitales 6ES7522-5HF00-0AB0	Indicadores
1	Acoplador de campo DP/PA FDC 157	Comunicación
4	Variador de velocidad SINAMICS G120C CP	Control Motores y Bombas
2	Pantalla HMI SIMATIC KTP1200 Basic PN	Vizualización y Control
4	Panel Inteligente de Operación IOP-2	Vizualización y Control
Equipos de Red		
2	Switch Siemens SCALANCE X204-2	Comunicación
Instrumentos y Actuadores		
3	Actuador de válvula/compuerta Auma 01.2	Control Agua
3	Medidor de Caudal Endress + Hauser Prosonic Flow 93c	Medición Variables
2	Interruptor de nivel Kobold de flotador tipo NAB	Medición Variables
2	Sensor de Nivel Endress + Hauser Prosonic M FMU 40	Medición Variables
10	Unidades de aireación Flygt 3102.060	Control Agua
1	Analizador de Procesos Metrohm 2035	Medición Variables
1	Interruptor de nivel Kobold NIR 9 tipo paletas rotativas	Medición Variables
1	Interruptor de nivel derivativo Kobold NBA	Medición Variables
Motores y Bombas		
1	Motor Siemens 1LE0142 IE1 IEC 0.75HP	Dosificación KMnO4
1	Motor Siemens 1LE0142 IE1 IEC 0.75HP	Dosificación KMnO4
2	Bombas Lowara CEA 1206/4N/D	Dosificación KMnO4
Equipo de Protección y Control Eléctrico		
4	Supervisor de voltaje electrónico Siemens 3UG4615-1CR20	Protección
5	Monitor de línea Monofásico ICM – 491	Protección
2	Fuente de alimentación estabilizada para SIMATIC S7-1500 6EP1333-4BA00	Protección
2	Unidad de potencia ininterrumpible Siemens SITOP UPS500 6EP1933-2EC51	Protección
32	Interruptor termomagnético automático Siemens 5SL3102-7	Protección
9	Interruptor termomagnético automático Siemens 5SL3102-7MB	Protección
2	Interruptor termomagnético automático Siemens 5SL3363-7	Protección
2	Interruptor termomagnético automático Siemens 5SL3216-7	Protección

5	Interruptor termomagnético automático Siemens 5SL3110-7	Protección
2	Interruptor termomagnético automático Siemens 5SL3116-7	Protección
10	Interruptor termomagnético automático Siemens 5SL3104-7	Protección
1	Interruptor termomagnético automático Siemens 5SL3106-7	Protección
3	Interruptor termomagnético automático Siemens 5SL3210-7	Protección
2	Interruptor termomagnético automático Siemens 5SL3202-7	Protección
2	Interruptor termomagnético automático Siemens 5SL3201-7	Protección
10	Interruptor termomagnético automático Siemens 5SL3306-7	Protección
2	Interruptor termomagnético automático Siemens 3RV2011-1AA10	Protección
2	Interruptor termomagnético automático Siemens 3RV2011-1DA10	Protección
10	Interruptor termomagnético automático Siemens 3RV2011-1HA10	Protección
2	Interruptor termomagnético automático Siemens 3RV2011-1CA10	Protección
1	Interruptor termomagnético automático Siemens 3RV2011-1FA10	Protección
2	contactor Siemens 3RT2016-1AF01	Control Eléctrico
11	contactor Siemens 3RT2023-1AG20	Control Eléctrico
1	Relé de sobrecarga térmica Siemens 3RU2116-1AB0	Control Eléctrico
10	Relé de sobrecarga térmica Siemens 3RU2126-1HB0	Control Eléctrico
1	Relé de propósito general PT370615	Control Eléctrico
1	Relé de propósito general PT570730	Control Eléctrico
18	Relé de propósito general PT370024	Control Eléctrico
Materiales Varios		
26	Lampara de Señalización Industrial LED Color Rojo	Indicadores
2	Lampara de Señalización Industrial LED Color Ámbar	Indicadores
11	Lampara de Señalización Industrial LED Color Verde	Indicadores
2	Baliza de señalización industrial	Indicadores
13	Pulsante Industrial Color Rojo NC	Control
13	Pulsante Industrial Color Verde NO	Control
5	Pulsante de Emergencia	Control
5	Selector Rotativo Metálico 3 Posiciones	Control
4	Gabinete metálico de hierro 800x800x2100 mm	Estructura
4	Gabinete metálico de hierro 600x800x2100 mm	Estructura
NC	Riel DIN	Estructura
NC	Cable IETH Cat6	Comunicación
14	Conector tipo Rj45	Comunicación
NC	Cable Profibus	Comunicación
14	Conector tipo RS485	Comunicación
Sistemas Mecánicos		
1	Compuerta 1000x1000mm	Control Agua
1	Compuerta 700x700mm	Control Agua
1	Tolva Acero Inoxidable	Dosificación KMnO ₄
1	Sistema de Dosificación Tornillo Sin Fin Acero inoxidable	Dosificación KMnO ₄
1	Cuba para Solución de KMnO ₄ Acero Inoxidable	Dosificación KMnO ₄

Para a la implementación propuesta fueron necesarios equipos de tanto de control, comunicación y visualización, instrumentos y actuadores, motores y bombas, equipos de seguridad eléctrica y materiales de instalación y alerta. La tabla 17. muestra un resumen de los equipos clasificados de acuerdo con sus características funcionales.

4.1.1. Equipos de Control y Visualización

4.1.1.1. Autómata Programable S7-1511 PN

La programación, interpretación de entradas y salidas, la comunicación con dispositivos y la administración de variables y datos se realiza mediante un autómata programable industrial, en este caso tanto para el tablero de control Tc-Mn como para el Tc-Do se utiliza un PLC marca siemens s7-1500 con conexión Profinet.



Ilustración 12. Autómata Programable S7-1500 del tablero de control Tc-Mn.

4.1.1.2. Módulo de comunicación CP1542-5

Módulo de comunicación industrial para Profibus DP utilizado para la lectura y escritura de instrumentos y actuadores de campo en el tablero de control TC-Mn y para la escritura y retroalimentación de los variadores de velocidad en los procesos relacionados al tablero de control TC-Do.



Ilustración 13. Módulo de comunicación Profibus DP del tablero TC-Mn

4.1.1.3. Módulo de entradas digitales 6ES7521-1BH00-0AB0

Los módulos de entradas digitales en ambos tableros de control fueron utilizados para el accionamiento de pulsantes y selectores, sistemas de seguridad y alarmas e interrupciones en el proceso.



Ilustración 14. Módulos de entradas digitales conectado al PLC del tablero TC-Mn

4.1.1.4. Módulo de salidas digitales 6ES7522-5HF00-0AB0

Los módulos de salidas digitales en ambos tableros de control fueron utilizados para visualización y accionamiento de luces de indicación, alertas y fallos, así como el accionamiento directo de algunos motores y elementos de campo.



Ilustración 15. Módulo de salidas digitales conectado al PLC del tablero TC-

4.1.1.5. Acoplador de campo DP/PA FDC 157

Para la implementación de los sensores de nivel específicamente se utilizó un acoplador DP/PA para la lectura de datos del proceso mediante el mismo módulo de comunicaciones Profibus DP.



Ilustración 16. Acoplador Profibus DP/PA

4.1.1.6. Variador de velocidad SINAMICS G120C CP

Los variadores de velocidad fueron utilizados para el control de los motores de dosificación de permanganato granulado y agitación de solución de permanganato, también en las bombas para la dosificación de la solución, procesos correspondientes al tablero de control TC-Do.



Ilustración 17. Variadores de velocidad del tablero TC-Do

4.1.1.7. Pantalla HMI SIMATIC KTP1200 Basic PN

Cada tablero de control cuenta con su respectivo HMI donde se encuentran configurados los parámetros y variables del proceso, fallas, alarmas tanto para control como visualización en tiempo real y los campos necesarios en caso de requerir ingresar algún valor de consigna o setpoint para los controles manuales.



Ilustración 18. Pantalla HMI SIMATIC KTP1200 Basic pn del tablero de control TC-Do.

4.1.1.8. Panel Inteligente de Operación SINAMICS IOP-2

Para poder visualizar en el tablero el correcto funcionamiento de los variadores de velocidad correspondientes a los motores de dosificación se utilizó 4 paneles de operación en el tablero de fuerza CCM-Mn.



Ilustración 19. Paneles de operación IOP-2 correspondientes al proceso de dosificación.

4.1.2. Equipos de red

4.1.2.1. Switch Siemens SCALANCE X204-2

Se utilizó un switch Siemens SCALANCE X204-2 en cada tablero de control para la conexión y comunicación con el interfaz humano máquina, el servidor y un computador en caso de requerir configuraciones y modificaciones sobre los programas.



Ilustración 20. Switch Siemens SCALANCE X204-2 correspondiente al tablero de control TC-Mn

4.1.3. Instrumentos y Actuadores

4.1.3.1. Actuador de válvula/compuerta 01.2

Los actuadores Auma son utilizados para el control de Ingreso de agua cruda, así como la respectiva salida tanto al módulo I y II de tratamiento de agua posterior a proceso de oxidación de manganeso, para la válvula y la compuerta del módulo I se utilizó el actuador de la serie VD0R063-2-0.12 y para la compuerta de salida al módulo II VD0R063-2-0.25.



Ilustración 21. Actuador Auma 01.2 correspondiente a la salida al módulo I.

4.1.3.2. Medidor de Caudal Endress + Hauser Prosonic Flow 93c

Tanto para el ingreso de agua cruda a PTAP y sus correspondientes afluentes a cada uno de los módulos de tratamiento de agua se utilizó medidores de caudal ultrasónicos Prosonic Flow 93c.



Ilustración 22. Pantalla Medidor de caudal Prosonic Flow 93c correspondiente al módulo II de la PTAP.

4.1.3.3. Interruptor de nivel Kobold de flotador tipo NAB

Se utiliza un interruptor de nivel tipo NAB marca Kobold para las interrupciones tanto de nivel muy alto como muy bajo de los dos tanques de oxigenación de manganeso.



Ilustración 23. Interruptor de nivel Kobold tipo NAB tanque este.

4.1.3.4. Sensor de nivel Sensor de Nivel Endress + Hauser Prosonic M FMU 40

Se utilizo dos sensores de nivel Prosonic M FMU40 que utiliza ondas de ultrasonido para detectar la distancia a la que se encuentra el nivel del agua en ambos tanques de oxidación de manganeso.



Ilustración 24. Sensor de nivel Prosonic Flow 93c correspondiente al tanque este.

4.1.3.5. Unidades de aireación Flygt 3102.060

Se colocaron 10 unidades de aireación fijas a 4m. de profundidad, 5 en cada tanque correspondiente de oxidación de manganeso.



Ilustración 25. Unidades de aireación.

4.1.3.6. Analizador de Procesos Metrohm 2035

Para la medición de las concentraciones de manganeso se eligió un equipo analizador de procesos industriales de la marca Metrohm 2035 con tecnología potenciométrica.



Ilustración 26. Analizador de procesos Metrohm 2035.

4.1.3.7. Interruptor de nivel Kobold NIR 9 tipo paletas rotativas

Se implementó el interruptor de nivel tipo paletas rotativas para la detección de permanganato de potación granulado.



Ilustración 27. Interruptor de nivel bajo tipo paletas rotativas en la tolva de permanganato de potasio granulado.

4.1.3.8. Interruptor de nivel derivativo Kobold NBA

Se utilizó un interruptor de nivel tipo derivativo para la detección del nivel muy bajo del permanganato de potasio en la cuba de solución.

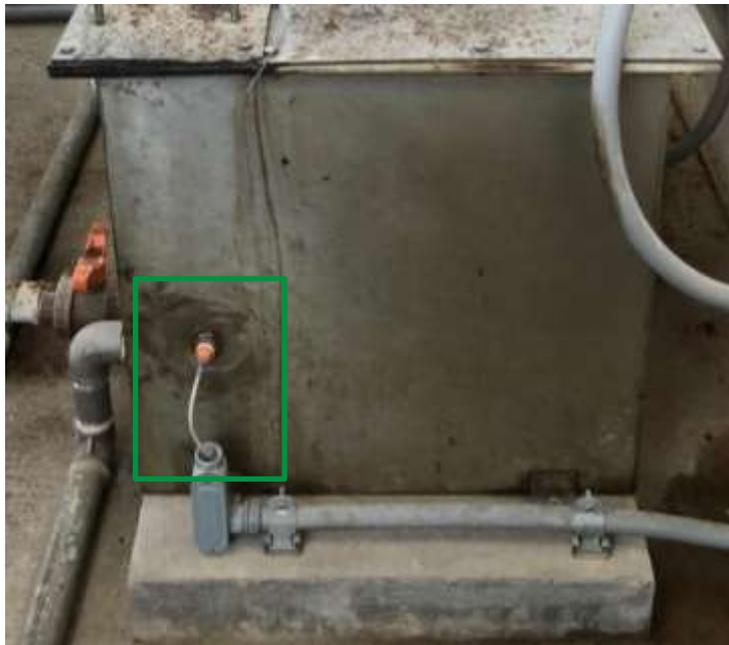


Ilustración 28. Interruptor de nivel derivativo en la cuba de solución de permanganato de potasio.

4.1.4. Motores y Bombas

4.1.4.1. Motor Marathon Electric DVK56T17 0.75HP

El motor Marathon Electric DVK56T17 0.75HP se acopló al sistema actual de dosificación de permanganato granulado el cual se utiliza para la dosificación del químico hacia la cuba de solución.



Ilustración 29. Motor correspondiente a la dosificación de permanganato de potasio en solución.

4.1.4.2. Motor Baldor 05c063w 0.5HP

Se utilizó el motor Baldor 05c063w 0.5HP para la agitación constante de la solución acuosa de permanganato de potasio dentro de la cuba de solución.



Ilustración 30. Motor de agitación en la cuba de permanganato de potasio en solución.

4.1.4.3. Bombas Lowara CEA 1206/4N/D

Se utilizó 2 bombas marca Lowara de 2HP para el bombeo de la solución de permanganato de potasio hacia los tanques de eliminación.



Ilustración 31. Bombas centrifugas correspondientes a la etapa de dosificación.

4.1.5. Equipos de Protección y Control Eléctrico

4.1.5.1. Supervisor de voltaje electrónico Siemens 3UG4615-1CR20

Es un relé de vigilancia digital para tensión trifásica que se utilizó para monitorear la secuencia de fases y estabilidad de la red de alimentación de los tableros de control CCM-Mn y CCM-Do.



Ilustración 32. Supervisor de voltaje electrónico Siemens 3UG4615-1CR20

4.1.5.2. Monitor de línea Monofásico ICM – 491

Es un relé de protección contra voltaje alto/bajo y ciclaje rápido que monitorea el voltaje de alimentación para asegurar que se encuentra estable y ante algún cambio, reacciona para proteger el resto de los dispositivos, se utilizaron en los tableros de control TC-Mn y TC-Do.



Ilustración 33. Monitor de línea Monofásico ICM – 491

4.1.5.3. Fuente de alimentación estabilizada para SIMATIC S7-1500 6EP1333-4BA00

Constituye el dispositivo de alimentación que garantiza estabilidad en la tensión y la intensidad de corriente para que el PLC S7-1500 funcione óptimamente y no exista fallos de funcionamiento debido a irregularidades en la alimentación del dispositivo. Se utiliza junto al PLC S7-1500.



Ilustración 34. Fuente de alimentación estabilizada Siemens 6EP1333-4BA00

4.1.5.4. Unidad de potencia ininterrumpible Siemens SITOP UPS500 6EP1933-2EC51

Se utilizó como elemento de respaldo en caso de que el suministro eléctrico falle en los tableros, almacenando y proporcionando energía de instrumentación y a equipos electrónicos de control de procesos



Ilustración 35. SITOP UPS500S EQUIPO BASICO 5 KWS 6EP1933-2EC51

4.1.5.5. Interruptor termomagnético automático Siemens serie 5SL

Se utilizó para desconectar la alimentación de las instalaciones en caso de que exista una sobrecarga o cortocircuito, al momento de que ocurra, el mecanismo actúa abriendo el circuito y previniendo averías, en los tableros se utilizaron interruptores de la serie 5SL con capacidades de intensidad de acuerdo con el diseño eléctrico.



Ilustración 36. Interruptor termomagnético automático Siemens serie 5SL

4.1.5.6. Interruptor termomagnético automático Siemens serie 3RV2

Está diseñado para proteger contra sobrecarga o cortocircuitos en motores, estos se utilizaron como sistema de protección en la instalación de los aireadores sumergibles, los actuadores de compuertas, actuadores de válvulas, motores de dosificación, agitación y las bombas de solución de Permanganato en los sistemas de fuerza.



Ilustración 37. Interruptor termomagnético automático Siemens serie 3RV2

4.1.5.7. Contactor Siemens serie 3RT2

Se utilizaron en los tableros para realizar la conmutación de red para el control y encendido de los aireadores, actuadores de válvulas y compuerta y el encendido y control del motor de agitación de permanganato.



Ilustración 38. Contactor Siemens serie 3RT2

4.1.5.8. Relé de sobrecarga térmica Siemens serie 3RU2

Se utilizaron para proteger los motores en caso de sobrecarga, instalados en los sistemas de los aireadores, los actuadores de válvulas y compuertas y en el tablero de control de la agitación de permanganato.



Ilustración 39. Relé de sobrecarga térmica Siemens serie 3RU2

4.1.5.9. Relé de propósito general SCHRACK

Se utilizaron para controlar la conmutación de las diferentes redes e instalaciones en los tableros: resistores de calefacción, control y encendido de los aireadores, encendido de baliza, activación de sensores; por lo que se utilizaron diferentes modelos que manejan diferentes corrientes y tensiones de acuerdo con el diseño eléctrico.



Ilustración 40. Relé de propósito general SCHRACK

4.1.6. Materiales varios

4.1.6.1. Gabinete metálico de hierro 800x800x2100 mm

Se utiliza los gabinetes metálicos de 800x800x2100mm con un espesor de 1.5mm de espesor para los tableros de fuerza eléctrica CCM-Mn y CCM-Do, los cuales albergan los componentes eléctricos de alimentación del proceso.



Ilustración 41. Tablero de Fuerza CCM-Do

4.1.6.2. Gabinete metálico de hierro 600x800x2100mm

Se utiliza los gabinetes metálicos de 600x800x2100mm con un espesor de 1.5mm de espesor para los tableros de control TC-Mn y TC-Do, los cuales albergan los componentes de control del proceso.



Ilustración 42. Tablero de control TC-Do.

4.1.6.3. Material Menudo

Para la construcción de tableros se utiliza varios tipos de cables, conectores, borneras, entre otros, la implementación se realiza de acuerdo con los diagramas de fuerza y control.

4.1.6.4. Cable IETH Cat VI y Conectores tipo RS45

Para la conexión entre equipos mediante protocolo Profinet, Ethernet se utilizan cable IETH CAT VI y conectores RS45

4.1.6.5. Cable Profibus y Conectores Tipo RS485

Para la conexión de equipos mediante el estándar Ethernet (Modbus TCP, Profinet), Se utilizan cables y conectores tipo RS485.

4.2. Propuesta de solución.

Para la estructuración de la propuesta es importante definir todas las etapas que lo comprenden y todos los aspectos relacionados al funcionamiento de acuerdo con los

requerimientos y especificaciones planteadas en el capítulo 3, para estas se plantean como se muestra en la ilustración 43.

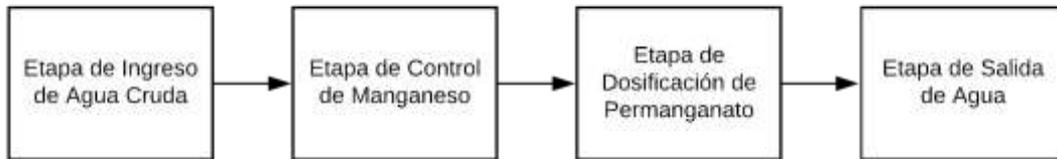


Ilustración 43. Diagrama de bloques de las etapas del proceso.

Adicionalmente se contemplan las principales acciones que debe efectuar el sistema a lo largo de sus etapas como se muestra en la ilustración 44.

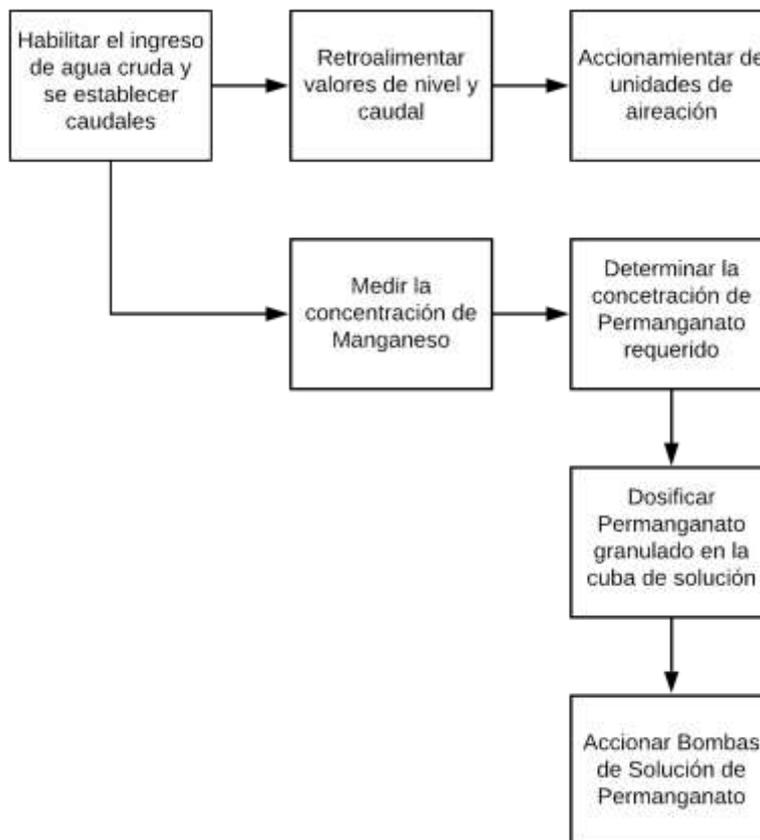


Ilustración 44. Acciones principales para efectuarse.

4.2.1. Diagrama de Funcionamiento

La ilustración 45, muestra el funcionamiento del sistema en términos generales, el actuador de válvula de entrada de agua cruda (1) da el paso inicial para el ingreso del fluido, el cual se mide mediante un sensor de caudal (2); sin embargo, el llenado de

tanques depende también de los actuadores de compuertas de salida (12) (13) mismas que continua el proceso tanto al módulo I y modulo II de Tixán, al interior de los tanques se cuenta con sensores (4) e interruptores de nivel (5) y 10 aireadores sumergidos(7) para acelerar el proceso de oxidación de manganeso. Del mismo modo se extrae del tanque mediante una conexión hidráulica se realiza el muestreo para la medición de la cantidad actual del metal mediante el analizador de procesos (3), dato que una vez medido se transmite al autómatas programable correspondiente al tablero de control TC-Mn (6). Por otro lado, el autómatas programable correspondiente al tablero de control TC-Do (8) comanda las acciones posteriores a la medición de manganeso, controlando el giro del motor de dosificación (9) de $KMnO_4$ granulado a través de un tornillo transportador/dosificador (10), la agitación del químico y el oportuno accionamiento de las bombas de dosificación (16).

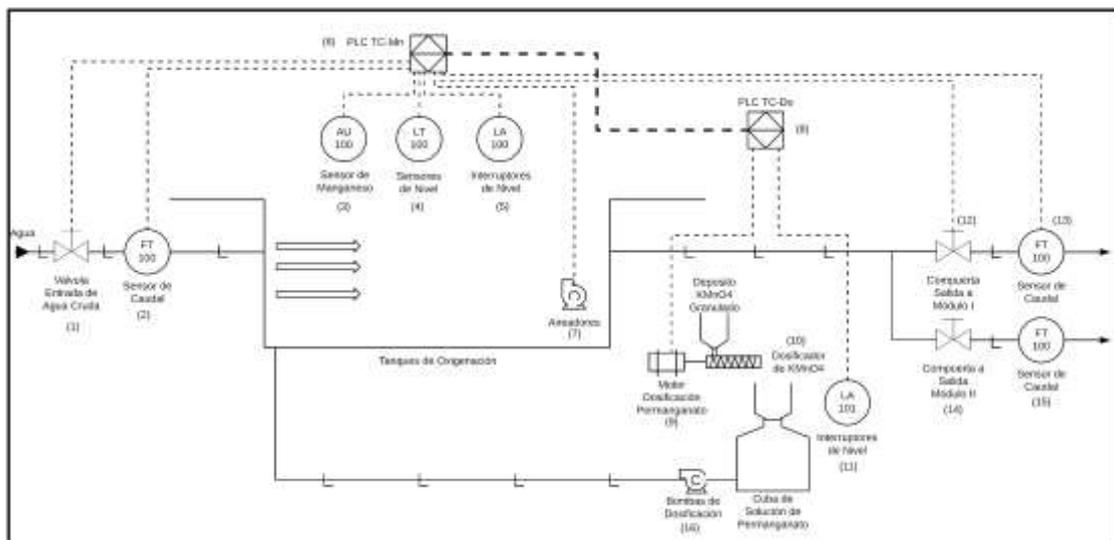


Ilustración 45. Diagrama funcional del proceso total de Control de manganeso

Para términos de simplificación de la ilustración se ha graficado únicamente un dispositivo en los casos que sean repetitivos como sensores, interruptores, unidades de aireación y bombas de dosificación, así como se ha omitido las pantallas de visualización HMI y los elementos de visualización/control de motores de dosificación, sin embargo, se detalla la cantidad y su funcionalidad en sus capítulos correspondientes.

4.2.2. Diagramas y funcionamiento por etapas

En la ilustración 46 se muestra una clasificación del proceso por etapas, en base a estas se plantean las consignas, subsistemas de seguridad y modos de accionamiento de los elementos de campo.

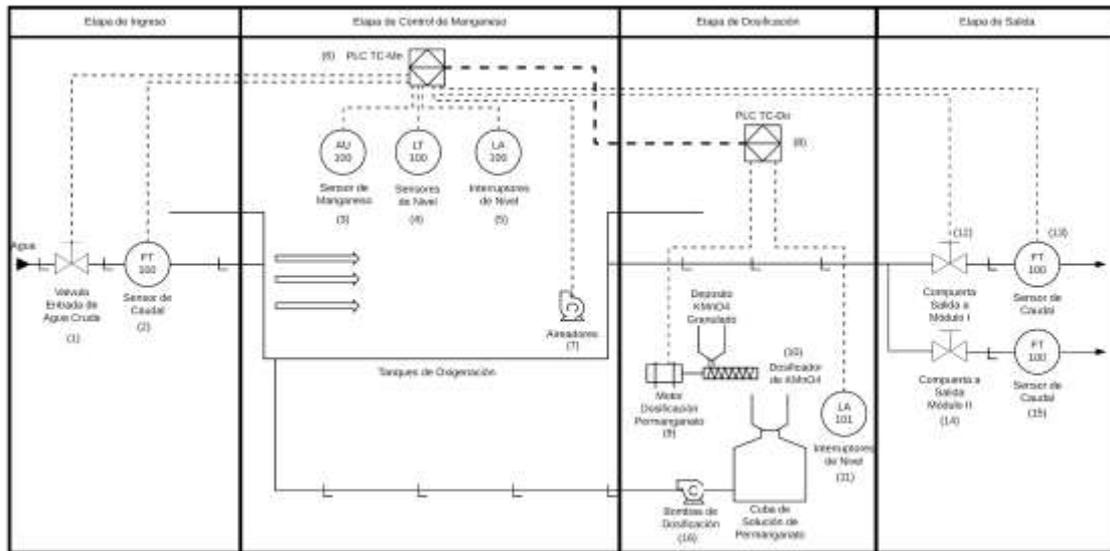


Ilustración 46. Diagrama funcional del proceso separado en etapas.

La siguiente tabla muestra en detalle los equipos requeridos para las etapas definidas en la ilustración 46:

Tabla 18. Detalle de los dispositivos de campo correspondientes a las etapas funcionales

Etapas y equipos de control			
Etapas Funcionales	Equipos Correspondientes	Ubicación	Etiqueta
Ingreso	Actuador de válvula de ingreso de agua cruda	Ingreso PTAP	1.12
	Medidor de caudal de ingreso de agua cruda	Ingreso PTAP	EC-01/FIT01
Control de Manganeso	Interruptor de nivel bajo bajo	Tanque de Remoción de Mn Oeste	LSw1-01 LL
	Interruptor de nivel alto alto	Tanque de Remoción de Mn Oeste	LSw1-01 HH
	Interruptor de nivel bajo bajo	Tanque de Remoción de Mn Este	LSw1-02 LL

	Interruptor de nivel alto alto	Tanque de Remoción de Mn Este	LSw1-02 HH
	Medidor de Nivel	Tanque de Remoción de Mn Oeste	EC-06/LIT01
	Medidor de Nivel	Tanque de Remoción de Mn Este	EC-06/LIT02
	Aireadores sumergibles (5)	Tanque de Remoción de Mn Oeste	EEM-01/0N
	Aireadores sumergibles (5)	Tanque de Remoción de Mn Este	EEM-01/0N
	Analizador de Procesos	Ingreso Tanques de Remoción Mn	MnIT01
Dosificación	Dosificador de permanganato granulado	Área de Dosificación	EDQ-5/01
	Agitador de permanganato	Área de Dosificación	EDQ-5/02
	Bomba de solución de permanganato hacia tanque O.	Área de Dosificación	EDQ-6/01
	Bomba de solución de permanganato hacia tanque E.	Área de Dosificación	EDQ-6/02
	Interruptor de nivel bajo bajo permanganato granulado	Área de Dosificación	LSw2-01 LL
	Interruptor de nivel bajo bajo permanganato solución	Área de Dosificación	LSw2-02 LL
Salida	Actuador de Compuerta de Salida Modulo I	Salida de Tanques de Remoción Mn	2.1
	Actuador de Compuerta de Salida Modulo II	Salida de Tanques de Remoción Mn	2.19
	Medidor de Caudal hacia modulo I	Salida de Tanques de Remoción Mn	EC-02/FIT02
	Medidor de caudal hacia modulo II	Salida de Tanques de Remoción Mn	EC-03/FIT03

Para la estructuración de la propuesta es importante definir todas las etapas que lo comprenden y todos los aspectos y equipos relacionados al funcionamiento de acuerdo con los requerimientos y especificaciones planteadas en el capítulo 4.

4.2.2.1. Etapa de Ingreso

La etapa de ingreso detalla todos los equipos e instrumentos utilizados para el ingreso de agua cruda a la PTAP Tixán, de igual manera el fluido ingresa directamente a dos tanques de oxigenación donde inicia la etapa de control de manganeso.

4.2.2.1.1. Válvula de ingreso 1.12

Etapa de Ingreso: Actuador de Válvula de Ingreso 1.12
La válvula 1.12 permite el ingreso del agua cruda a la PTAP. Detalle: Actuador de válvula Auma 01.2 Motor: VDOR063-2-0.12 Tipo: Proporcional Alimentación: 220Vac, 60Hz, 3F Corriente nominal: 0.7A Potencia nominal: 0.12kW Torque máximo: 60Nm Caudal máximo: 1100 l/s Diámetro de tubería: 16" Comunicación: Profibus DP Conector: Conexión directa a la placa cable RS485.
Se selecciona el modo de operación mediante un switch selector de tres posiciones. Modo Local: Es posible controlar la apertura o cierre proporcional de la válvula mediante la utilización de pulsantes físicos en sitio. Modo Manual: Es posible controlar la apertura o cierre proporcional de la válvula mediante campos de entrada pulsátiles o pulsantes virtuales incluidos en las pantallas de HMI en el tablero de control y SCADA en el cuarto de operaciones. Modo Automático: Este modo permite la apertura y cierre proporcional de la válvula mediante una rutina PID según estándar ISA, tomando como referencia la consigna C1.1 en lazo cerrado con el sensor de caudal FIT01.
Condiciones adicionales de habitación: - Cuando los caudales requeridos en las consignas de caudal exceden el valor nominal de la planta o el caudal máximo se dispone la apertura total de la válvula de ingreso.
Condiciones de paro y desconexión: - Cuando los caudales medidos con los sensores FIT2 y FIT3 presentan un valor se dispone el cierre total de la válvula de ingreso.
Consignas C1.1: Requerimiento de caudal de ingreso a la PTAP proporcionado por el operador. Corresponde a la suma de C1.2 y C1.3. C1.2: Requerimiento de caudal de Ingreso al Módulo I de tratamiento de agua. C1.3: Requerimiento de caudal de Ingreso al Módulo II de tratamiento de agua.

4.2.2.1.2. Medidor de caudal FIT01

Etapa de Ingreso: Medidor de caudal FIT01
El medidor de caudal mide el ingreso de agua cruda a la PTAP, permite cerrar el lazo de control para el modo automático de la válvula 1.12.
Detalle: Endress + Hauser Prosonic Flow 93c
Tipo: Ultrasónico
Diámetro de tubería: 16"
Rango de medición: [35,96 : 1223,95] l/s
Tipo de conexión: En línea con disposición horizontal.
Comunicación: Profibus DP
Conector: Conexión de cable directo a la placa del transmisor.

4.2.2.2. Etapa de Control de Manganeso

La etapa de control de manganeso comprende todos los equipos e instrumentos utilizados para la medición, eliminación y control de manganeso, estos equipos se encuentran principalmente ubicados en los tanques de oxigenación, a diferencia del medidor de manganeso mismo que se encuentra junto a estos en una cabina construida propiamente para su implementación.

4.2.2.2.1. Aireadores sumergibles EEM01-N

Etapa de Control de Manganeso: Unidades de Aireación EEM01-N
Los aireadores se accionan proporcionalmente al caudal de entrada.
Detalle: Flygt 3102.060
Tipo: Bomba Sumergible
Par: Constante
Potencia: 3.7 kW
Eficiencia: 0.76
Alimentación: 400Vac, 60Hz, 3F
Corriente nominal: 7.3 A
Tipo de arranque: Arranque Directo.
Se selecciona el modo de operación mediante el switch selector de tres posiciones SW1-01 ubicado en el tablero CC-Mn.
Modo Manual: Es posible controlar el encendido o apagado de cada uno de los diez aireadores pulsando pulsadores físicos ubicados en el tablero.
Modo Apagado: Este modo apaga los aireadores e imposibilita tu control, posición de seguridad para tareas de mantenimiento e intervención.
Modo Automático: Este modo controla los aireadores en función del caudal de ingreso de agua cruda, al 20% se encenderán 2 aireadores 1 por tanque, de este modo progresivamente hasta el 100% con todos los aireadores trabajando.
Modo Remoto: Es posible controlar mediante campos pulsátiles de entrada o pulsantes virtuales en las pantallas tanto de HMI del tablero de control como del SCADA. (Switch selector debe estar en modo Automático y un switch pulsátil virtual en las pantallas GUI.
Condiciones de paro y desconexión:

- Los interruptores de nivel bajo bajo y la instrumentación de nivel comandan enclavamientos de interrupción de la operación para niveles bajos y muy bajos en cada tanque.
- Cuando el nivel del tanque medido con los instrumentos LIT se encuentre por debajo del medido en el vertedero se apagarán temporalmente todos los aireadores de dicho tanque. Al momento de volver a arrancar se vuelve a encender en función del caudal de ingreso.

4.2.2.2.2. Interruptor de nivel bajo bajo LSw1-N LL

Etapa de Control de Manganeso: Interruptor de nivel bajo bajo LSw1-n LL

Proporciona los enclavamientos de interrupción para niveles bajos y muy bajos de los tanques de oxigenación.

Detalle: Interruptor de Nivel Kobold tipo NAB

Tipo: Flotador

Material: Propileno

Alimentación: 250 VAC, 60 Hz

Lectura: Digital

4.2.2.2.3. Interruptor de nivel alto alto LSw01-N HH

Etapa de Control de Manganeso: Interruptor de nivel alto alto LSw1-n HH

Proporciona los enclavamientos de interrupción para niveles bajos y muy bajos de los tanques de oxigenación.

Detalle: Interruptor de Nivel Kobold tipo NAB

Tipo: Flotador

Material: Propileno

Alimentación: 250 VAC, 60 Hz

Lectura: Digital

4.2.2.2.4. Medidores de nivel EC06/LITn

Etapa de Control de Manganeso: Medidores de nivel EC06/LITn

El medidor de caudal mide el nivel de agua en cada tanque de eliminación de manganeso, permiten controlar acciones en las unidades de aireación y enclavamientos de seguridad.

Detalle: Endress + Hauser Prosonic M FMU 40

Tipo: Ultrasónico

Rango de medición:

Comunicación: Profibus PA

Conector: Cable Profibus PA

4.2.2.2.5. Medidor de Manganeso MnIT01

Etapa de Control de Manganeso: Medidor de Manganeso MnIT01
El medidor de manganeso mide la concentración del mineral en el agua cruda en tiempos específicos, el valor medido se utiliza en la etapa de dosificación. Modelo: Analizador de Procesos Metrohm 2035 Tipo: Potenciométrico Rango de medición: Comunicación: Modbus TCP Conector: Rj45

4.2.2.3. Etapa de Dosificación

La etapa de dosificación comprende los equipos e instrumentos utilizados para la mezcla y dosificación del químico oxidante del manganeso, en este caso Permanganato de Potasio (KMnO₄).

4.2.2.3.1. Dosificador de KMnO₄ granulado EDQ5-01

Etapa de Dosificación: Dosificador de KMnO₄ granulado EDQ-5/01
El motor se encarga de la dosificación de permanganato granulado. Detalle: Motor Marathon Electric DVK56T17 0.75HP Tipo: Motor eléctrico 4 polos Potencia: 0.55 kW Eficiencia: 0.74 Alimentación: 440Vac, 3F Corriente nominal: 1.29 A Velocidad máxima: 1725rpm Tipo de conexión: VD. Tipo de arranque: Variador de frecuencia
Se selecciona el modo de operación mediante el switch selector de tres posiciones SW1-01 ubicado en el tablero CC-Mn. Modo Manual: Es posible controlar el encendido/apagado y el incremento/decremento de la velocidad de giro del motor de dosificación mediante acción sobre los botones del panel de operación en el tablero Tc-Do. Modo Apagado: Este modo imposibilita el control del motor de dosificación, posición de seguridad para tareas de mantenimiento e intervención. Modo Automático: Este modo controla automáticamente el encendido/apagado y la velocidad del motor de dosificación en función del caudal de ingreso de agua cruda mediante FIT01 y la concentración de Manganeso presente en la misma medida a través del instrumento MnIT01.
Condiciones de paro y desconexión: - Los interruptores de nivel bajo para permanganato granulado comandan enclavamientos de interrupción de la operación para niveles bajos y desplegarán una alarma.

4.2.2.3.2. Agitador de KMnO₄ en solución EDQ5-02

Etapas de Dosificación: Agitador de KMnO₄ en solución EDQ-5/02
<p>El motor se encarga de la agitación de permanganato en solución. Detalle: Motor Baldor 05c063w 0.5HP Tipo: Motor eléctrico 8 polos Potencia: 0.55 kW Eficiencia: 0.66 Alimentación: 440Vac, 3F Corriente nominal: 1.25 A Velocidad máxima: 850 rpm Tipo de conexión: VD. Tipo de arranque: Directo.</p>
<p>Se selecciona el modo de operación mediante el switch selector de tres posiciones SW1-01 ubicado en el tablero CC-Mn.</p> <p>Modo Manual: Es posible controlar el encendido/apagado del motor de agitación mediante acción sobre pulsantes del panel de operación en el tablero Tc-Do.</p> <p>Modo Apagado: Este modo imposibilita el control del motor de agitación posición de seguridad para tareas de mantenimiento e intervención.</p> <p>Modo Automático: Este modo controla automáticamente el encendido/apagado del motor de agitación mientras exista solución.</p>
<p>Condiciones de paro y desconexión:</p> <p>- La circuitería desarrollada e instrumentación de nivel para la cuba de solución previo al bombeo a los tanques de remoción de manganeso comandan enclavamientos de interrupción de la operación para niveles muy bajos y despliegan una alarma.</p>

4.2.2.3.3. Unidades de bombeo de KMnO₄ en solución EDQ6-01/02

Etapas de Dosificación: Bombas de solución de KMnO₄ EDQ-6/n
<p>Las bombas se encargan de llevar la solución de KMnO₄ hacia ambos tanques de remoción de Mn.</p> <p>Detalle: Bomba Lowara CEA 1206/4N/D Detalle del motor: SM80BG/315PE Tipo: Bomba Centrífuga Potencia: 1.5 kW Alimentación: 440Vac, 3F Corriente nominal: 3.22 A Caudal máximo: 160 l/m Tipo de arranque: Variador de frecuencia</p>
<p>Se selecciona el modo de operación mediante el switch selector de tres posiciones SW1-01 ubicado en el tablero CC-Mn.</p> <p>Modo Manual: Es posible controlar el encendido/apagado y el incremento/decremento de la velocidad de giro de cada una de las unidades de bombeo hasta el punto de dosificación en los tanques de remoción de Mn, mediante acción sobre pulsantes en el panel de operación en el tablero Tc-Do.</p> <p>Modo Apagado: Este modo imposibilita el control de las unidades de bombeo, posición de seguridad para tareas de mantenimiento e intervención.</p>

Modo Automático: Este modo controla automáticamente el encendido/apagado de las unidades de bombeo a una potencia de bombeo fija que se establecerá en función de lo que se requiera una vez entregada la tubería de circulación verificadas mediante rotámetros en la línea de impulsión.

Condiciones adicionales de habilitación:

- El criterio de bombeo se realiza en función de la concentración de Mn y las disposiciones del jefe de planta.

Condiciones de paro y desconexión:

- La operación de las unidades de bombeo se da de manera ininterrumpida hasta un evento de falla eléctrica o mecánica, en ese caso se activa una acción de bombeo de reserva bajo las mismas premisas y condiciones.

- La circuitería desarrollada e instrumentación de nivel para la cuba de solución, comandan enclavamientos de interrupción de la operación de bombeo para niveles muy bajos y despliegan una alarma.

4.2.2.3.4. Interruptor de nivel bajo bajo de $KMnO_4$ granulado LSw2-01 LL

Etapas de Dosificación: Interruptor de nivel bajo bajo de $KMnO_4$ granulado LSw2-01 LL

Proporciona los enclavamientos de interrupción para niveles bajos y muy bajos de los tanques de oxigenación.

Detalle: Interruptor de Nivel Kobold NIR 9

Tipo: Paleta Giratorio

Material: Aluminio recubierto de poliéster

Alimentación: 24 VDC

Lectura: Digital

4.2.2.3.5. Interruptor de nivel bajo bajo de $KMnO_4$ en solución LSw2-02 LL

Etapas de Dosificación: Interruptor de nivel bajo bajo de solución de $KMnO_4$ LSw2-02 LL

Proporciona los enclavamientos de interrupción para niveles bajos y muy bajos de los tanques de oxigenación.

Detalle: Interruptor de Nivel Kobold NBA

Tipo: Derivativo

Material: Acero Inoxidable

Alimentación: 250 VAC, 60 Hz

Lectura: Digital

4.2.2.4. Etapa de Salida

4.2.2.4.1. Actuador de Compuerta de Salida al Módulo I 2.10

Etapas de Salida: Actuador de Compuerta de salida módulo I 2.10

Los actuadores de compuerta permiten la salida del agua de los tanques de remoción de Mn.

Detalle: Actuador de válvula Auma 01.2

Motor: VDOR063-2-0.12

Tipo: Proporcional

Alimentación: 220Vac, 60Hz, 3F

Corriente nominal: 0.7A

<p>Potencia nominal: 0.12kW Torque máximo: 60Nm Dimensión compuerta: 700x700mm Comunicación: Profibus DP Conector: Conexión directa a la placa cable RS485.</p>
<p>Se selecciona el modo de operación mediante un switch selector de tres posiciones.</p> <p>Modo Local: Es posible controlar la apertura o cierre proporcional de la válvula mediante la utilización de pulsantes físicos en sitio.</p> <p>Modo Manual: Es posible controlar la apertura o cierre proporcional de las compuertas provistas de actuador mediante campos de entrada pulsátiles o pulsantes virtuales incluidos en las pantallas de HMI en el tablero de control y SCADA en el cuarto de operaciones.</p> <p>Modo Automático: Este modo permite la apertura y cierre proporcional de las compuertas mediante una rutina PID según estándar ISA, tomando como referencia las consignas C1.2 y C1.3 correspondientes a los instrumentos FIT02 y FIT03, en lazo cerrado para los módulos I y II.</p>
<p>Condiciones de paro y desconexión:</p> <p>- En caso de presentarse una falla en alguno de los instrumentos de medición FIT02 o FIT03 el actuador asociado al instrumento dispone la apertura total de la compuerta correspondiente.</p>
<p>Consignas</p> <p>C1.1: Requerimiento de caudal de ingreso a la PTAP proporcionado por el operador. Corresponde a la suma de C1.2 y C1.3.</p> <p>C1.2: Requerimiento de caudal de Ingreso al Módulo I de tratamiento de agua.</p> <p>C1.3: Requerimiento de caudal de Ingreso al Módulo II de tratamiento de agua.</p>

4.2.2.4.2. Actuador de Compuerta de Salida al Módulo II 2.19

<p>Etapa de Salida: Actuador de Compuerta de salida módulo II 2.19</p>
<p>Los actuadores de compuerta permiten la salida del agua de los tanques de remoción de Mn.</p> <p>Detalle: Actuador de válvula Auma 01.2 Motor: VDOR071-2-0.25 Tipo: Proporcional Alimentación: 220Vac, 60Hz, 3F Corriente nominal: 1.3A Potencia nominal: 0.25kW Torque máximo: 120Nm Dimensión compuerta: 1000x1000mm Comunicación: Profibus DP Conector: Conexión directa a la placa cable RS485.</p>
<p>Se selecciona el modo de operación mediante un switch selector de tres posiciones.</p> <p>Modo Local: Es posible controlar la apertura o cierre proporcional de la válvula mediante la utilización de pulsantes físicos en sitio.</p> <p>Modo Manual: Es posible controlar la apertura o cierre proporcional de las compuertas provistas de actuador mediante campos de entrada pulsátiles o pulsantes virtuales incluidos en las pantallas de HMI en el tablero de control y SCADA en el cuarto de operaciones.</p> <p>Modo Automático: Este modo permite la apertura y cierre proporcional de las compuertas mediante una rutina PID según estándar ISA, tomando como referencia las consignas C1.2 y C1.3 correspondientes a los instrumentos FIT02 y FIT03, en lazo cerrado para los módulos I y II.</p>
<p>Condiciones de paro y desconexión:</p>

- En caso de presentarse una falla en alguno de los instrumentos de medición FIT02 o FIT03 el actuador asociado al instrumento dispone la apertura total de la compuerta correspondiente.

Consignas

C1.1: Requerimiento de caudal de ingreso a la PTAP proporcionado por el operador.
Corresponde a la suma de C1.2 y C1.3.

C1.2: Requerimiento de caudal de Ingreso al Módulo I de tratamiento de agua.

C1.3: Requerimiento de caudal de Ingreso al Módulo II de tratamiento de agua.

4.2.2.4.3. Medidores de Caudal FIT02/FIT03

Etapas de Salida: Medidores de caudal FIT02/03

El medidor de caudal mide el caudal de salida de los tanques de remoción de Mn a los módulos I y II.

Detalle: Endress + Hauser Prosonic Flow 93c

Tipo: Ultrasónico

Diámetro de tubería: 16"

Rango de medición: [35,96 : 1223,95] l/s

Tipo de conexión: En línea con disposición horizontal.

Comunicación: Profibus DP

Conector: Conexión de cable directo a la placa del transmisor.

4.2.3. Diagramas de Tuberías e Instrumentación

Los anexos 1 y 2 detallan los dos diagramas de tuberías e instrumentación bajo la normativa ANSI/ISA-S5 que norma la información mínima requerida para lazos de instrumentación mediante, los diagramas hacen referencia a los tableros de control TC-Mn y TC-Do respectivamente con sus correspondientes lazos de control 100 y 101, los equipos de instrumentación, control, transmisión y visualización se muestran en la tabla 19 y 20, para términos de simplificación se ha utilizado un solo elemento en caso de que estos sean repetitivos y se agrega un sufijo n denotando la existencia de más de un elemento de la misma clase/función.

Tabla 19. Detalle Elementos del Diagrama P&ID del Tablero TC-Mn (anexo 1).

Elementos Diagrama P&ID TC-Mn			
Etiqueta	Denominación	Etapas	Tipo de Elemento
PLC TC-Mn	PLC S7-1511 PN	Control Mn	Controlador
HMI Mn	HMI SIMATIC KTP1200 Basic	Visualización	Interfaz de Usuario
UM01	Módulos de comunicación	Control Mn	Transmisor
1.12	Actuador de Válvula	Ingreso	Actuador
FIT01	Visualizador Transmisor de Caudal Ingreso	Ingreso	Instrumento
1.10	Actuador de Compuerta SM I	Salida	Actuador
FIT02	Visualizador Transmisor de Caudal SM I	Salida	Instrumento
1.19	Actuador de Compuerta SM II	Salida	Actuador
FIT03	Visualizador Transmisor de Caudal SM II	Salida	Instrumento
LITn	Visualizador Transmisor de Nivel	Salida	Instrumento
LS-n	Interruptor de Nivel Redundante	Control Mn	Instrumento

Tabla 20. Detalle Elementos del Diagrama P&ID del Tablero TC-Do (anexo 2).

Elementos Diagrama P&ID TC-Do			
Etiqueta	Denominación	Etapas	Tipo de Elemento
PLC TC-Do	PLC S7-1511 PN	Dosificación	Controlador
HMI Do	HMI SIMATIC KTP1200 Basic	Visualización	Interfaz de Usuario
SCT-n	Controlador Transmisor de Velocidad	Dosificación	Transmisor
EDQ5-n	Motor Eléctrico 0.75HP	Dosificación	Actuador
EDQ6-n	Bomba Centrífuga	Dosificación	Instrumento
SIC-n	Visualizador Controlador de Velocidad	Visualización	Interfaz de Usuario
LS-n	Interruptor de Nivel Redundante	Dosificación	Instrumento

4.2.4. Diseño de Comunicación y Control

4.2.4.1. Entradas y Salidas Digitales

4.2.4.1.1. Puertos Digitales Tc-Mn

El tablero Tc-Mn cuenta con tres módulos de entradas digitales 6ES7521-1BH00-0AB0 de 16x24VDC y dos módulos de salidas digitales 6ES7522-5HF00-0AB0 de 8x24VDC conectados al autómatas programable como se muestra en la ilustración 47.

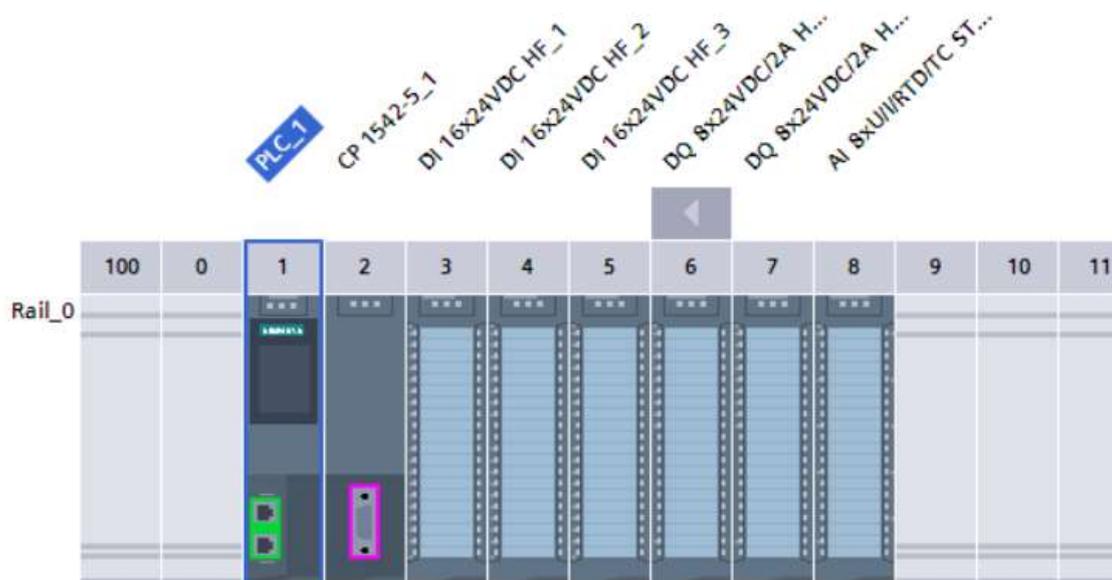


Ilustración 47. Módulos de entradas y salidas en el PLC s71200 del tablero TC-Mn

Las entradas y salidas digitales fueron utilizadas para el control del proceso, en el caso de las entradas se utilizaron para caracterizar fallos, indicación de funcionamiento y sistemas de seguridad, en cuanto a las salidas estas se utilizaron para accionamiento de las unidades de aireación y accionamiento de sistemas de alerta.

Tabla 21. Detalle de entradas y salidas en el PLC s7-1200 del tablero TC-Mn

Entradas y Salidas Digitales Tablero TC-Mn				
N°	Entradas Digitales		Salidas Digitales	
1	I0.0	Reset Alarma	Q0.0	Reset Baliza
2	I0.1	Fallo de Alimentación CCM-Mn 3F, 220Vac	Q0.1	Sirena Baliza
3	I0.2	Fallo de Alimentación TC-Mn 2F, 220Vac	Q0.2	Salida a LED
4	I0.3	Falla de Voltaje Batería UPS 1F, 220Vac	Q0.3	Reservado
5	I0.4	Falla de Alimentación 24Vdc	Q0.4	Iluminación verde baliza
6	I0.5	Falla de Sobretensión TVSS	Q0.5	Iluminación amarilla baliza
7	I0.6	Reservado	Q0.6	Iluminación roja baliza
8	I0.7	Reservado	Q0.7	Reservado
9	I1.0	Falla Batería SITOP-UPS 24Vdc	Q1.0	Activación Aireador EEM-01/01
10	I1.1	Falla Alarma SITOP-UPS 24Vdc	Q1.1	Activación Aireador EEM-01/02

11	I1.2	Falla SITOP-UPS Batería <85%	Q1.2	Activación Aireador EEM-01/03
12	I1.3	Reservado	Q1.3	Activación Aireador EEM-01/04
13	I1.4	Reservado	Q1.4	Activación Aireador EEM-01/05
14	I1.5	Reservado	Q1.5	Activación Aireador EEM-01/06
15	I1.6	Reservado	Q1.6	Activación Aireador EEM-01/07
16	I1.7	Reservado	Q1.7	Activación Aireador EEM-01/08
17	I2.0	Paro de Emergencia Aireación	Q2.0	Activación Aireador EEM-01/09
18	I2.1	Nivel de Tanque Oeste muy bajo	Q2.1	Activación Aireador EEM-01/10
19	I2.2	Nivel de Tanque Oeste muy alto	Q2.2	Reservado
20	I2.3	Nivel de Tanque Este muy bajo	Q2.3	Reservado
21	I2.4	Nivel de Tanque Este muy alto	Q2.4	Reservado
22	I2.5	Aireación Manual	Q2.5	Reservado
23	I2.6	Reservado	Q2.6	Reservado
24	I2.7	Aireación Automática	Q2.7	Reservado
25	I3.0	Funciona Aireador EEM-01/01		
26	I3.1	Falla Térmica Aireador EEM-01/01		
27	I3.2	Funciona Aireador EEM-01/02		
28	I3.3	Falla Térmica Aireador EEM-01/02		
29	I3.4	Funciona Aireador EEM-01/03		
30	I3.5	Falla Térmica Aireador EEM-01/03		
31	I3.6	Funciona Aireador EEM-01/04		
32	I3.7	Falla Térmica Aireador EEM-01/04		
33	I4.0	Funciona Aireador EEM-01/05		
34	I4.1	Falla Térmica Aireador EEM-01/05		
35	I4.2	Funciona Aireador EEM-01/06		

36	I4.3	Falla Térmica Aireador EEM-01/06
37	I4.4	Funciona Aireador EEM-01/07
38	I4.5	Falla Térmica Aireador EEM-01/07
39	I4.6	Funciona Aireador EEM-01/08
40	I4.7	Falla Térmica Aireador EEM-01/08
41	I5.0	Funciona Aireador EEM-01/09
42	I5.1	Falla Térmica Aireador EEM-01/09
43	I5.2	Funciona Aireador EEM-01/10
44	I5.3	Falla Térmica Aireador EEM-01/10
45	I5.4	Falla Térmica Actuador de Válvula 1.12
46	I5.5	Falla Térmica Actuador de Compuerta 2.10
47	I5.6	Falla Térmica Actuador de Compuerta 2.19
48	I5.7	Reservado

4.2.4.1.2. Puertos Digitales Tc-Do

El tablero Tc-Do cuenta con cuatro módulos de entradas 6ES7521-1BH00-0AB0 de 16x24VDC y dos módulos de salidas 6ES7522-5HF00-0AB0 de 8x24VDC conectados al autómata programable; no obstante, este autómata programable comanda procesos de dosificación externos al proceso de control de manganeso por lo que para términos prácticos se toma en cuenta solo los módulos necesarios para la dosificación de KMnO_2 y sus diversos sistemas de seguridad y control.

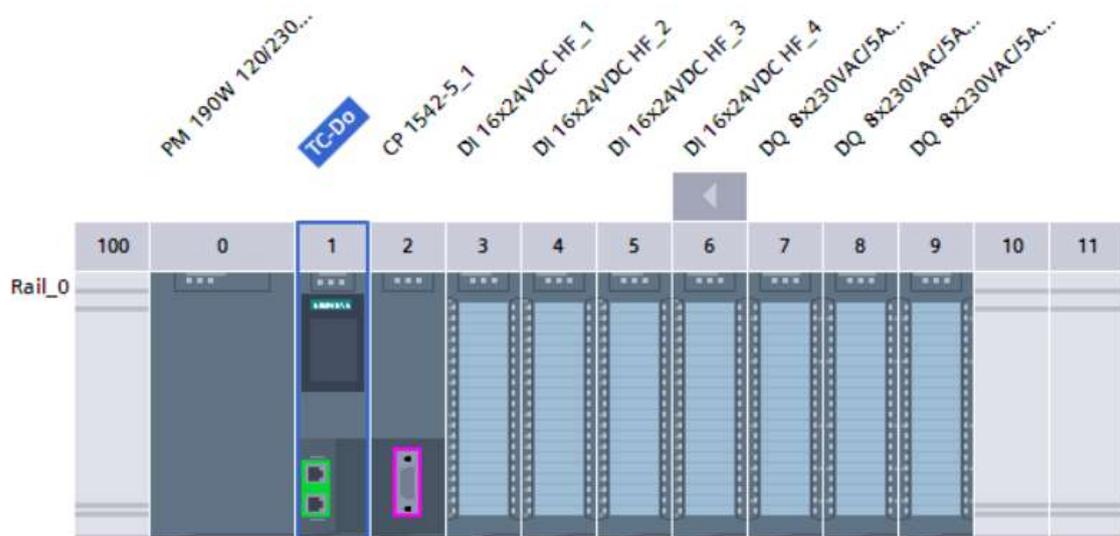


Ilustración 48. Módulos de entradas y salidas en el PLC s71200 del tablero TC-Do

Al igual que en el tablero Tc-Mn las entradas y salidas digitales fueron utilizadas para el control del proceso, en el caso de las entradas se utilizar para caracterizar fallos, indicación de funcionamiento y sistemas de seguridad, en cuanto a las salidas estas se utilizaron para accionamiento de las unidades de aireación y accionamiento de sistemas de alerta.

Tabla 22. Detalle de entradas y salidas en el PLC s7-1200 del tablero TC-do

Entradas y Salidas Digitales Tablero Tc-Mn				
N°	Entradas Digitales		Salidas Digitales	
1	I0.0	Reset Alarmas	Q0.0	Iluminación verde baliza
2	I0.1	Fallo de Alimentación CCM-Do 3F, 220Vac	Q0.1	Iluminación amarilla baliza
3	I0.2	Fallo de Alimentación TC-Do 220Vac	Q0.2	Iluminación roja baliza
4	I0.3	Falla de Voltaje Batería UPS 1F, 110Vac	Q0.3	Sirena Baliza
5	I0.4	Falla de Alimentación 24Vdc	Q0.4	Reservado
6	I0.5	Falla de Alimentación Fuente de Campo	Q0.5	Reservado
7	I0.6	Falla de Sobretensión TVSS	Q0.6	Reservado
8	I0.7	Falla Batería SITOP-UPS 24Vdc	Q0.7	Reservado

9	I1.0	Falla Alarma SITOP-UPS 24Vdc	Q1.0	Reservado
10	I1.1	Falla SITOP-UPS Batería <85%	Q1.1	Reservado
11	I1.2	Reservado	Q1.2	Activación Motor de Agitación EDQ-5/2
12	I1.3	Reservado	Q1.3	Salida a LED
13	I1.4	Reservado	Q1.4	Reservado
14	I1.5	Reservado	Q1.5	Reservado
15	I1.6	Reservado	Q1.6	Reservado
16	I1.7	Reservado	Q1.7	Reservado
17	I3.0	Paro de Emergencia Proceso Dosificación Permanganato		
18	I3.1	Nivel de Permanganato Granulado muy bajo		
19	I3.2	Nivel Solución de Permanganato muy bajo		
20	I3.3	Dosificación Manual		
21	I3.4	Reservado		
22	I3.5	Dosificación Automático		
23	I3.6	Funciona Agitador EDQ-5/02		
24	I3.7	Falla Térmica Agitador EDQ- 5/02		
25	I4.0	Paro de Emergencia Bombeo de Permanganato		
26	I4.1	Bombeo Manual		
27	I4.2	Reservado		
28	I4.3	Bombeo Automático		

29	I4.4	Falla Suministro de Energía Transformador 1
30	I4.5	Falla SITOP 24Vdc
31	I4.6	Test Baliza
32	I4.7	Reservado
33	I6.0	Falla Motor Dosificación EDQ-5/01
34	I6.1	Falla de Alimentación de Bomba de Solución de Permanganato EDQ-6/01
35	I6.2	Falla de Alimentación en Bomba de Solución de Permanganato EDQ-6/02
36	I7.0	Reservado
37	I7.1	Falla en Alimentación de Motor de Agitación EDQ-5/02

4.2.4.2. Protocolos de comunicación

Los protocolos de comunicación se establecen en función de los requerimientos propios del proceso y las restricciones a nivel de distancias y tecnología, para ello cada tablero de control desde su correspondiente autómatas programable principal comandará las acciones y realizará las lecturas a través de los diferentes protocolos como se detalla a continuación.

4.2.4.2.1. Tablero TC-Mn

El tablero de control TC-Mn cuenta con cuatro protocolos de comunicación industrial, el primero es una red Profibus DP misma que se encuentra a una velocidad de transmisión de 1.5Mbps, este protocolo comanda las acciones de los actuadores de válvula y compuerta para los ingresos y lectura de estados de los equipos, los valores de los medidores de caudal tanto al ingreso como salida de los tanques de remoción de manganeso.

El segundo protocolo de comunicación es una red Profibus PA para la lectura de los sensores de nivel de los tanques de remoción de manganeso, si bien se utiliza otro bus

de campo este se configura y es leído por el software como otra red DP, su velocidad de transmisión es de 45,45Kbps.

El tercer protocolo de comunicación utilizado en el tablero de control de manganeso es Modbus/TCP, si bien es cierto es un protocolo antiguo es un limitante debido al equipo utilizado para la medición de manganeso.

Finalmente, el ultimo protocolo de comunicación es una red Profinet misma que se utiliza para la conexión de la pantalla HMI para visualización y control de las variables relacionadas a los procesos de Ingreso, Salida y Control de Manganeso.

4.2.4.2.2. Red Profibus DP

Tabla 23. Detalle de dispositivos de la Red Profibus DP del Tablero TC-Mn

Red Profibus DP				
N°	Equipo	Etapa	Detalle	Dirección DP
1	Medidor de caudal Endress + Hauser Prosonic Flow 93 c	Ingreso	Ingreso PTAP	23
2	Actuador de Válvula Auma 01.2	Ingreso	Ingreso PTAP	20
3	Actuador de Válvula Auma 01.2	Salida	Salida hacia módulo I	2
4	Medidor de caudal Endress + Hauser Prosonic Flow 93 c	Salida	Salida hacia módulo I	24
5	Actuador de Válvula Auma 01.2	Salida	Salida hacia módulo II	22
6	Medidor de caudal Endress + Hauser Prosonic Flow 93 c	Salida	Salida hacia módulo II	25

El protocolo de comunicación Profibus DP establece una comunicación descentralizada de los equipos de campo, mediante el módulo de comunicación CP1542-5 conectado al automático programable s71500, los equipos e instrumentos configurados mediante esta red son los que se muestra en la tabla 23, así como, sus direcciones DP para la comunicación

y las etapas funcionales en las que operan los mismo. La ilustración 49 muestra la red configurada en el software TIA PORTAL.

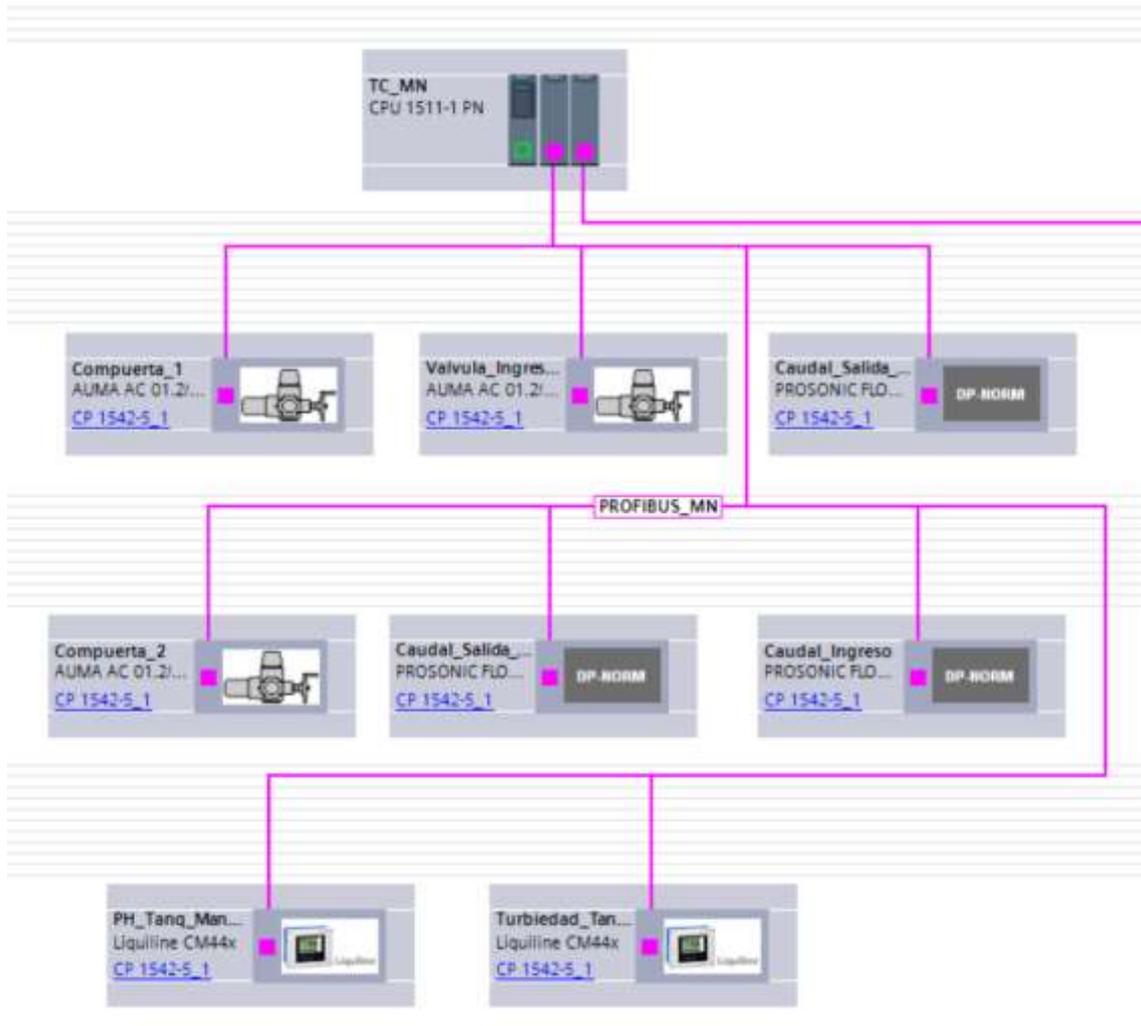


Ilustración 49. Configuración red Profibus DP correspondiente al tablero de control TC-Mn.

4.2.4.2.2.1. Red Profibus PA

El protocolo de comunicación Profibus PA, consiste en una variante de DP que principalmente reduce costos en la capa física debido a que, al transmitir la información mediante solo dos cables disminuye notablemente los costos en cableado y conexiones, pero tiene ciertas limitaciones en cuanto a velocidad, sin embargo, el proceso no tiene restricciones en las velocidades de transmisión. Para esta red se utiliza el mismo módulo de comunicación CP1542-5 y un acoplador de campo FDC 157, la función de este último es hacer la conversión DP/PA, es por ello, que en el programa el sensor es configurado y detectado como un esclavo DP. La siguiente tabla muestra las direcciones configuradas.

Tabla 24. Detalle de dispositivos de la Red Profibus PA del Tablero TC-Mn

Red Profibus PA				
N°	Equipo	Etap	Detalle	Dirección DP
1	Medidor de Nivel Endress + Hauser Prosonic M FMU 40	Control de Manganeso	Tanque Este	11
2	Medidor de Nivel Endress + Hauser Prosonic M FMU 40	Control de Manganeso	Tanque Oeste	10

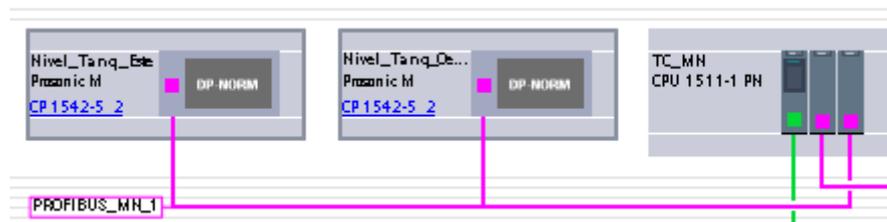


Ilustración 50. Configuración red Profibus PA correspondiente al tablero de control TC-Mn

4.2.4.2.2.2. Red Modbus/TCP

El protocolo de comunicación Modbus/TCP es utilizado únicamente para comunicar el Analizador de Procesos Metrohm 2035, equipo utilizado para la medición de la concentración de manganeso. La lectura y escritura se realiza mediante el envío y recepción de datos apuntando a la dirección IP del dispositivo de campo. Físicamente este protocolo se conecta mediante conector Rj45.

4.2.4.2.2.3. Red Profinet

El protocolo de comunicación Profinet es utilizado para la comunicación de la pantalla HMI KTP1200 donde se visualiza y controla los actuadores e instrumentos de campo, además muestra las alarmas e interrupciones en las etapas de Ingreso, Salida y Control de Manganeso.

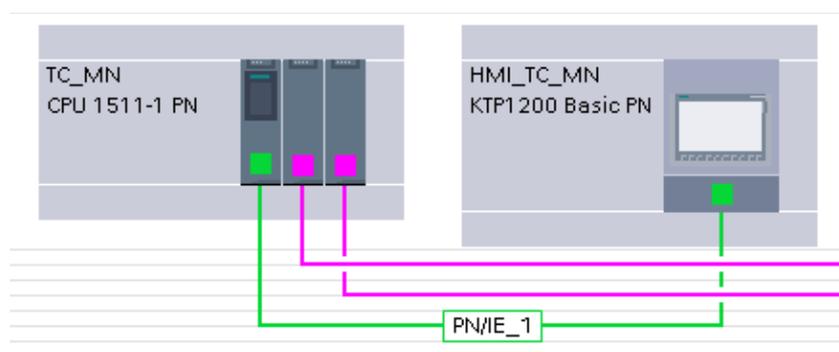


Ilustración 51. Configuración red Profinet correspondiente al tablero de control TC-Mn.

4.2.4.2.3. Tablero TC-Do

El tablero de control TC-Do cuenta con dos protocolos de comunicación industrial relacionados al control de manganeso, el primero es una red Profibus DP misma que se encuentra a una velocidad de transmisión de 1.5Mbps, este protocolo comanda las acciones sobre los variadores de frecuencia del proceso de dosificación.

El segundo protocolo de comunicación es una red Profinet misma que se utiliza para la conexión de la pantalla HMI para visualización y control de las variables relacionadas a los diferentes procesos de dosificación, para nuestro caso únicamente se utilizará para la dosificación de permanganato.

4.2.4.2.3.1. Red Profibus DP

El protocolo de comunicación Profibus DP establece una comunicación descentralizada de los equipos de campo, mediante el módulo de comunicación CP1542-5 conectado al autómatas programables S7-1500, los equipos e instrumentos configurados mediante esta red son los que se muestra en la tabla x, así como, sus direcciones DP para la comunicación y las etapas funcionales en las que operan los mismo. La ilustración 25 muestra la red configurada en el software TIA PORTAL.

Tabla 25. Detalle de dispositivos de la Red Profibus DP del Tablero TC-Do

Red Profibus DP				
N°	Equipo	Etapas	Detalle	Dirección DP
1	Variador de Frecuencia Sinamics G120C DP	Dosificación	Dosificador	18
2	Variador de Frecuencia Sinamics G120C DP	Dosificación	Bomba Tanque E.	19
3	Variador de Frecuencia Sinamics G120C DP	Dosificación	Bomba Tanque O.	20

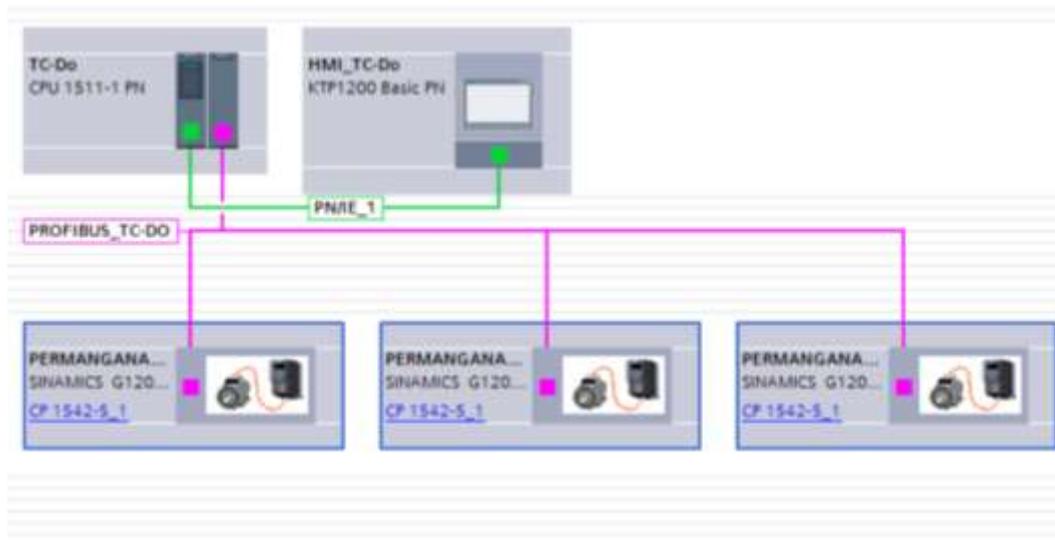


Ilustración 52. Configuración red Profibus correspondiente al tablero de control TC-Do.

4.2.4.2.3.2. Red Profinet

El protocolo de comunicación Profinet es utilizado para la comunicación de la pantalla HMI KTP1200 donde se visualiza y controla los actuadores e instrumentos de campo, además muestra las alarmas e interrupciones en etapa de dosificación de permanganato.

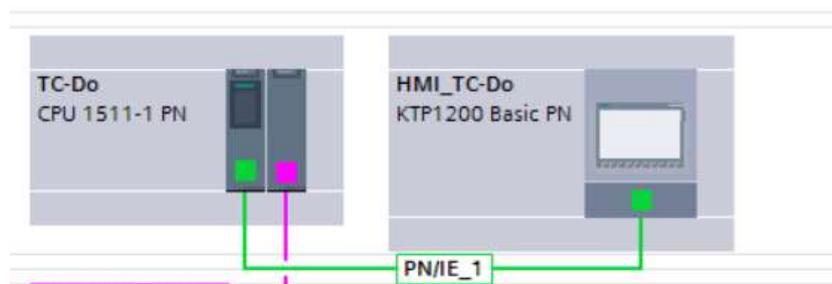


Ilustración 53. Configuración red Profinet correspondiente al tablero de control TC-Do.

4.2.5. Diseño del equipo de dosificación de KMnO_4 [45]

El Equipo de dosificación de permanganato de potasio (KMnO_4) regula la cantidad de KMnO_4 que se debe verter en el agua cruda para controlar la concentración de manganeso, El equipo consta de una tolva donde se coloca el KMnO_4 , un tornillo transportador que empuja el material a ser vertido en una cuba, donde se forma la solución antes de bombear al agua cruda, la cuba cuenta con un sistema de agitación para mezclar de manera homogénea el KMnO_4 .

4.2.5.1. Tolva de KMnO_4 granulado

La tolva donde se aloja el permanganato tiene una sección transversal rectangular inicial de 2550 cm^2 que se reduce hasta los 515 cm^2 aproximadamente, la tolva proporciona un canal para alimentar el tornillo transportador con KMnO_4 .

4.2.5.2. Tornillo de Dosificación

El tornillo sin fin que transporta el permanganato se utiliza para dosificar una cantidad de permanganato en un tiempo determinado, el motor que gira el tornillo varía su velocidad o se detiene durante un tiempo para lograr dosificar la cantidad correcta de material. El tornillo se ha diseñado para suministrar un flujo máximo de 1.42 g/s de permanganato cuando gira a 60 RPM, dicho flujo es adecuado de acuerdo con los datos de concentración máxima de manganeso recogidos a lo largo del funcionamiento del la PTAP. El flujo de material corresponde a la siguiente ecuación:

$$Q = 3600 \cdot S \cdot v \cdot \rho \cdot i$$

Donde:

Q es el flujo de material $\left[\frac{t}{h}\right]$

S es la superficie de relleno del canalón $[m^2]$

v es la velocidad de desplazamiento del transportador $\left[\frac{m}{s}\right]$

ρ es la densidad del material transportado $\left[\frac{t}{m^3}\right]$

i es el coeficiente de disminución de flujo debido a la inclinación

El flujo de material es de 1.42 g/s que corresponde a 0.005112 t/h

La superficie de relleno del canalón se calcula usando:

$$S = \lambda \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

Donde:

λ es el coeficiente de relleno de sección, que para materiales pesados y abrasivos toma el valor de 0.125

D es el diámetro del canalón del transportador, cuyo valor es $34 \text{ mm} = 0.034 \text{ m}$

Por lo que la superficie de relleno del canalón será de $113.49 \times 10^{-6} \text{ m}^2$

La velocidad de desplazamiento del transportador se calcula con:

$$v = \frac{p \cdot n}{60}$$

Donde:

p es el paso de la hélice en m

n es la velocidad de giro del tornillo en RPM

Ya que se determinará el paso de la hélice y la velocidad de giro máxima es de 60 RPM, el valor numérico de la velocidad de desplazamiento [m/s] y del paso [m] será el mismo.

La densidad del KMnO_4 es de 2.7 g/cm^3 que corresponde a 2.7 t/m^3

El coeficiente de disminución de flujo toma el valor de 1 ya que el tornillo estará horizontal.

Por lo tanto, el paso de la hélice deberá ser $4.63 \times 10^{-3} \text{ m}$ que corresponde a 4.63 mm .

La longitud de tornillo será de 0.6 m debido al hardware disponible en la planta, el mismo que se acondicionará para que el funcionamiento sea el adecuado.

4.2.5.3. Cuba de Solución

La cuba de solución tiene un volumen de 0.230 m^3 , es un tanque cúbico donde se aloja el sistema de agitación, sensores de nivel bajo para el sistema de seguridad y las tuberías

para el bombeo de la solución hacia el agua cruda. En este se deposita el KMnO_4 mediante el tornillo transportador.

4.2.5.4. Sistema de Agitación de KMnO_4 en solución

Es un sistema de paletas que reside en la cuba para remover el permanganato en el agua existente en la cuba y preparar la solución q será vertida en el agua cruda. Este sistema consta de las paletas y un motor que gira las mismas a velocidad constante.

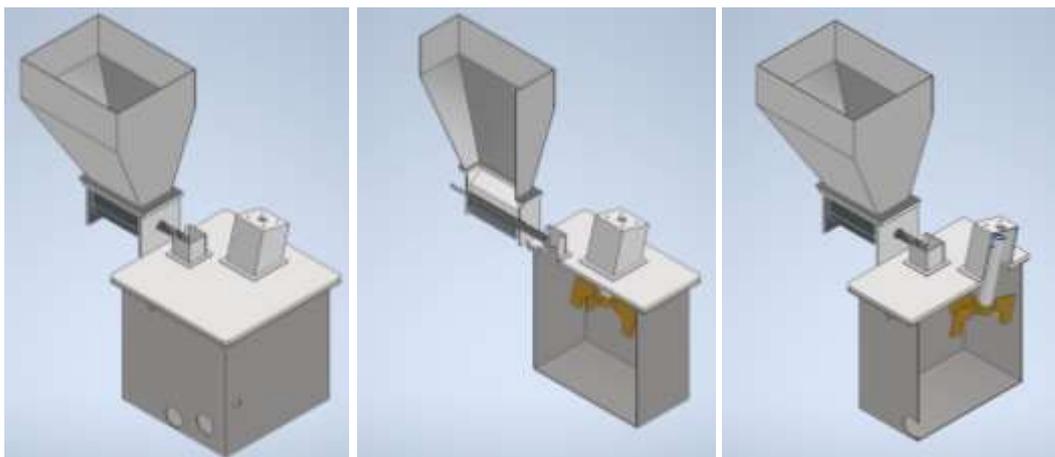


Ilustración 54. Sistema de dosificación modelado en software

4.2.6. Diseño del Proceso de Dosificación Automático

El proceso de dosificación de Permanganato de Potasio se encuentra en función de los requerimientos detallados en el capítulo 3 del presente documento, los mismos que en resumen detallan el involucramiento de tres variables principales la concentración de manganeso medido en el agua cruda [C], el factor adimensional de dosificación [F] y el caudal [Q] de ingreso a la PTAP, la relación matemática que representa el requerimiento de dosificación se define a continuación.

$$\text{Dosificación } \left[\frac{\text{ug}}{\text{L}} \right] = C \left[\frac{\text{ug}}{\text{L}} \right] * F [\emptyset]$$

$$\text{Requerimiento Dosificación } \left[\frac{\text{ug}}{\text{s}} \right] = D \left[\frac{\text{ug}}{\text{L}} \right] * Q \left[\frac{\text{L}}{\text{s}} \right]$$

Constructivamente el valor máximo de revoluciones del motor es de 1800rpm lo que corresponde a 60rpm del tornillo, resultado de la acción de la caja de reducción que se encuentra acoplada entre el tornillo y el motor de dosificación EDQ5-02. La ilustración

x muestra la gráfica correspondiente a los valores reales de gramos de dosificación por segundo del sistema de tornillo respecto de la velocidad.

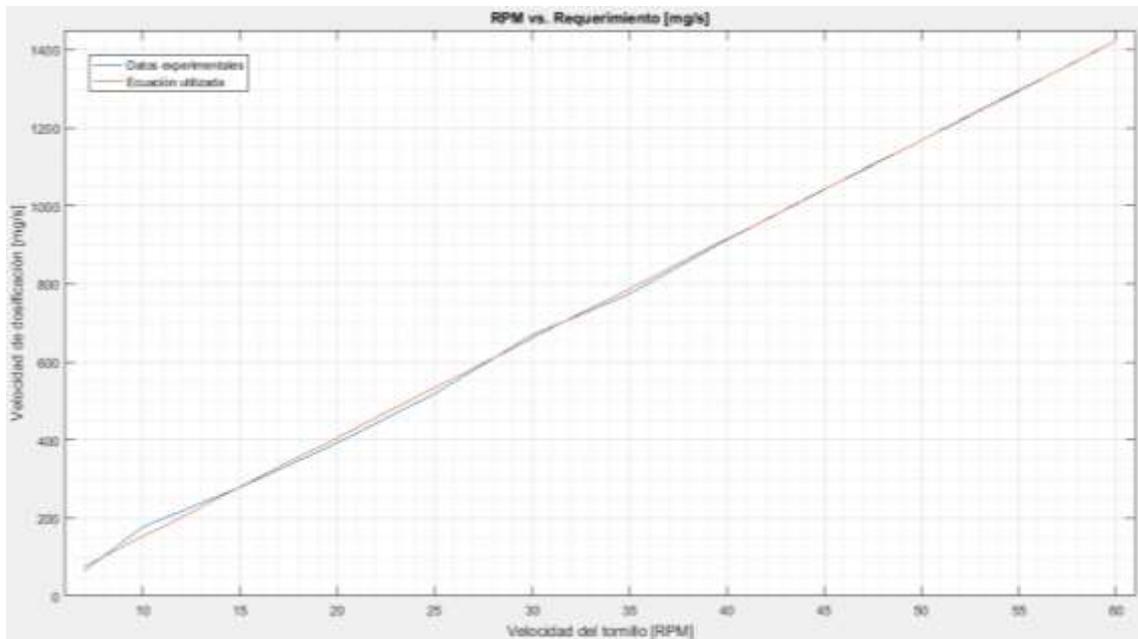


Ilustración 55. Gráfica de Velocidad [RPM] vs Dosificación [mg/s] en el Sistema de Dosificación.

La dosificación es bastante controlable cuando se tienen valores altos de requerimiento de dosificación, sin embargo, para requerimientos muy pequeños constructivamente el motor no permite dosificar la cantidad de gramos requeridos, por ello se contempla dividir este proceso en dos, una dosificación continua para requerimientos altos y dosificar por índices de manera intermitente mediante tiempos de accionamiento a una velocidad específica y tiempos de apagado para cumplir el requerimiento de gramos por segundo. Se establece un límite para la selección adecuada de estos modos, utilizando la ilustración 55, cuando la velocidad corresponde a 10rpm del tornillo y 300rpm del motor, con la finalidad de tener un margen de modificación en caso de ser necesario a futuro, lo cual corresponde un requerimiento de 0.076ug/s, con lo cual la gráfica final de dosificación se detalla en la ilustración x.

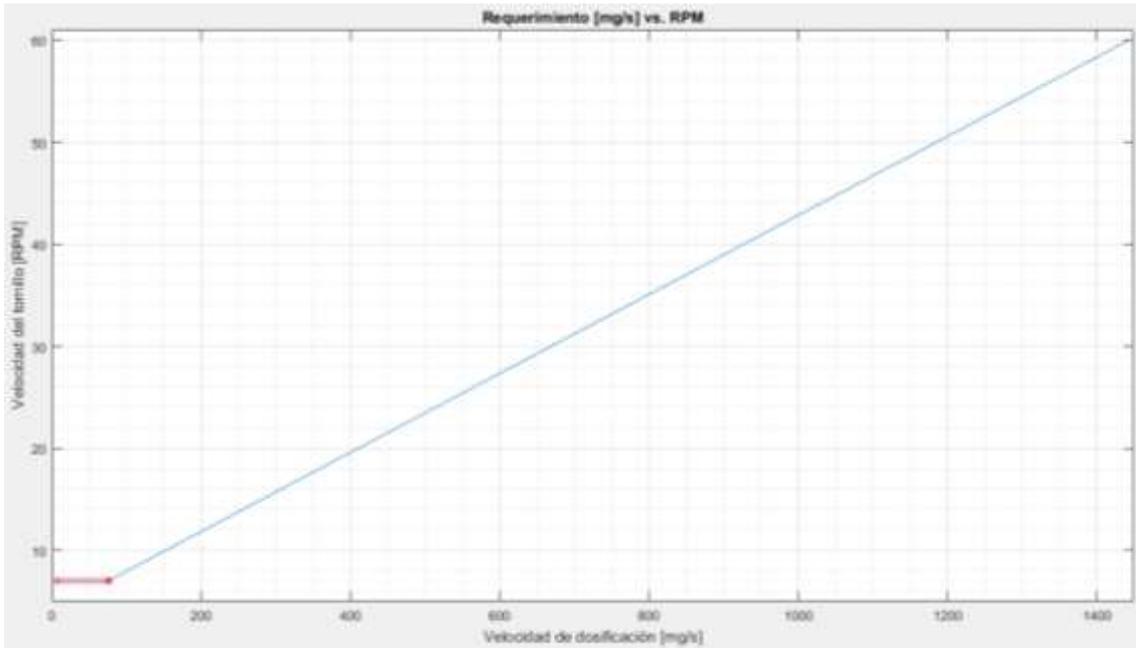


Ilustración 56. Curva del Sistema de Dosificación Modo Automático.

4.2.6.1. Dosificación Continua

El modo continuo corresponde a la dosificación del químico a una velocidad constante a partir del límite definido de 0.076g/s de acuerdo con la curva detallada en la ilustración 56.

4.2.6.2. Dosificación por Índices

El modo de dosificación por índices se utiliza para valores por debajo del límite de requerimiento de 0.076g/s, en ese caso la velocidad del tornillo se establece a 10rpm durante 10s, tiempo en el que se dosifica 2.5g ambas variables son constantes y los que varía es el tiempo de apagado.

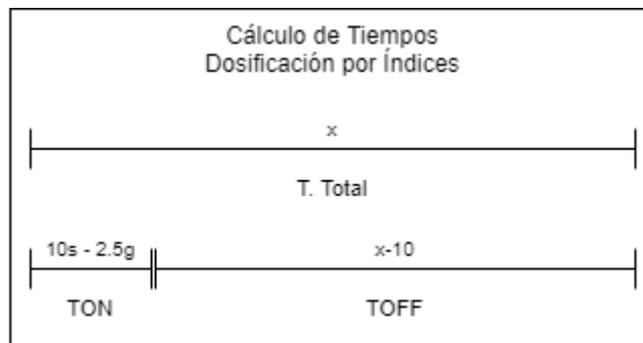


Ilustración 57. Gráfico de Tiempos ON y OFF de Dosificación por Índices.

Mediante la siguiente relación matemática se calcula el tiempo de apagado para lograr el requerimiento, donde K corresponde al valor constante dosificado en 10s a 10rpm y Rq_{Do} al requerimiento de dosificación calculado en función de las variables descritas previamente.

$$T_{total} = \frac{K}{Rq_{Do}}$$

$$T_{OFF} = T_{total} - T_{ON}$$

4.2.7. Programación Controladores Lógicos

La programación de los controladores lógicos programables (PLC) se realizó utilizando el software TIA PORTALv15, en lenguaje escalera principalmente y ciertos bloques específicos mediante AWL. La programación comprende el control de entradas y salidas, fallas y alarmas correspondientes, accionamientos de actuadores y lectura de sensores, además debe establecer y asegurar la comunicación con los dispositivos de campo, así como el correcto manejo y administración de los datos y variables.

4.2.7.1. Autómata Programable TC-Mn

El autómata programable TC-Mn comprende el control y administración de las etapas funcionales de Ingreso, Control de Manganeseo y Salida, así como su correspondiente interfaz humano máquina. La siguiente ilustración muestra un resumen de los bloques de programa realizados:

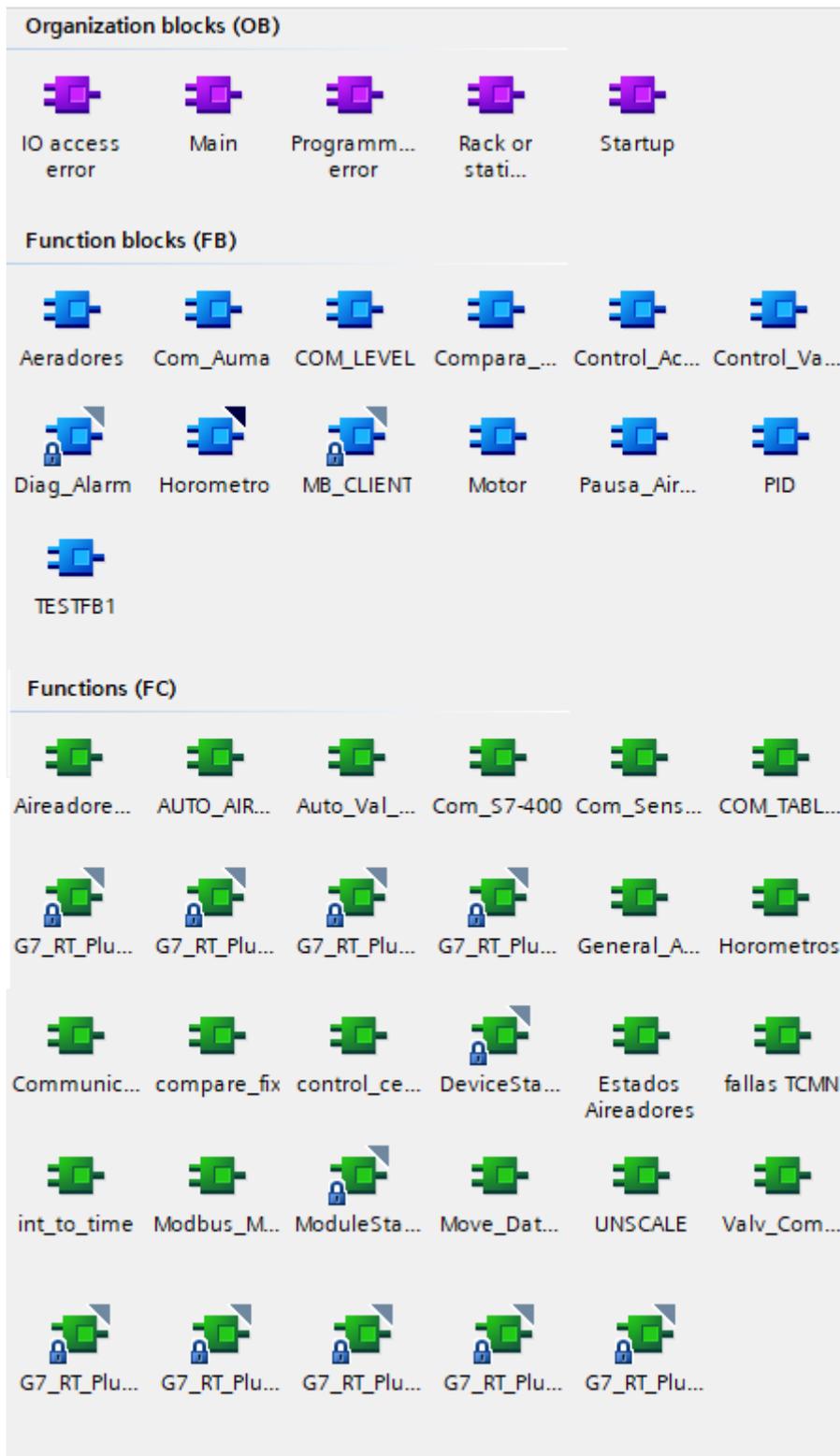


Ilustración 58. Bloques de Programa del PLC TC-Mn

Se realizó una programación estructurada, partiendo de un bloque cíclico (OB1) donde se controla mediante funciones o bloques de función las diferentes acciones y la lógica necesarias de acuerdo con los requerimientos de la empresa.

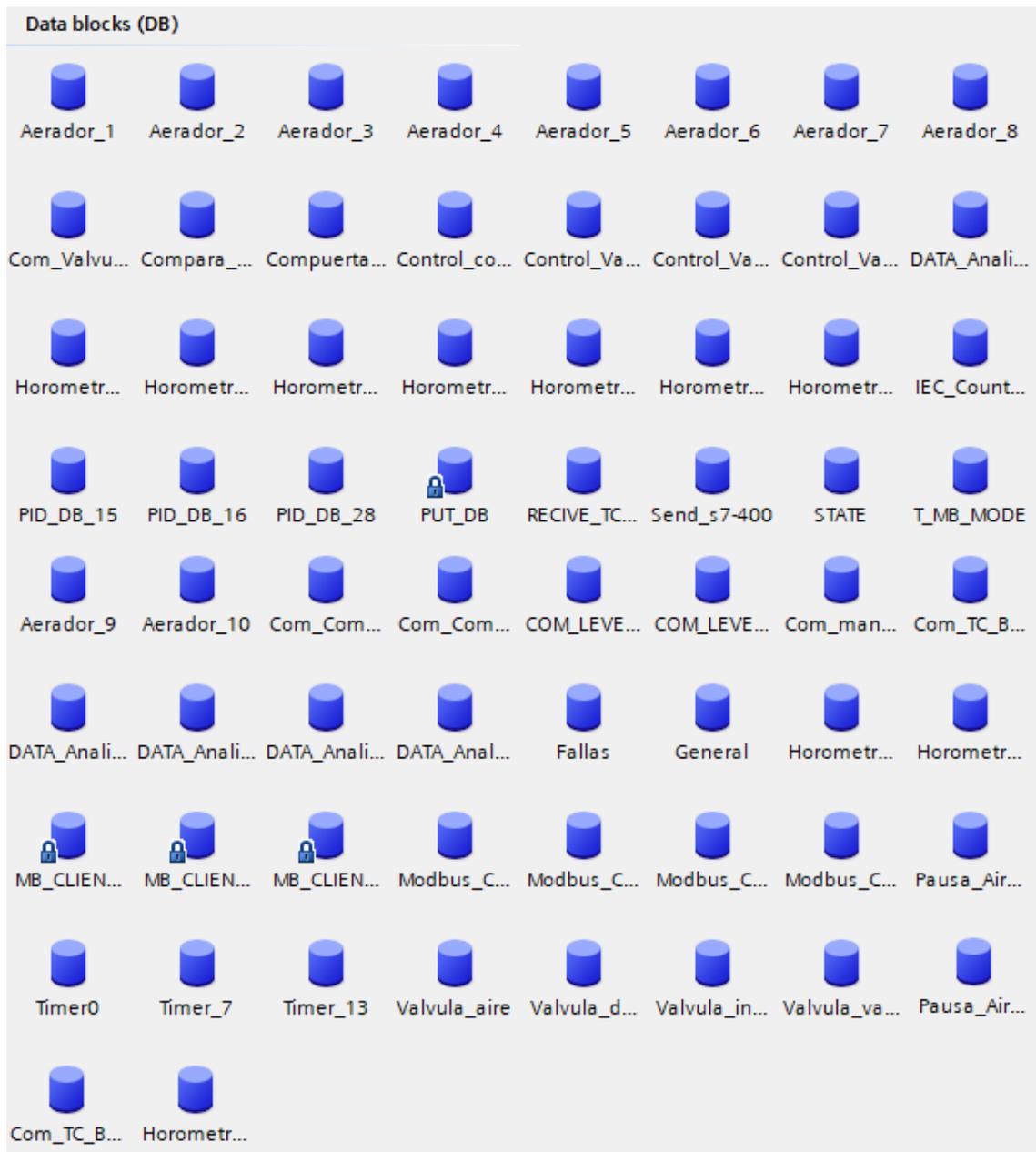


Ilustración 59. Bloques de Datos PLC TC-Mn

Los bloques de datos de instancia guardan las variables de su bloque relacional, sin embargo, los bloques de datos globales Fallas y General almacenan la información de fallas y las variables a controlar/visualizar del sistema. La siguiente ilustración muestra la correlación de los elementos funciones, bloques cíclicos, de función y de datos, HMI y los elementos de campo de las etapas antes mencionadas.

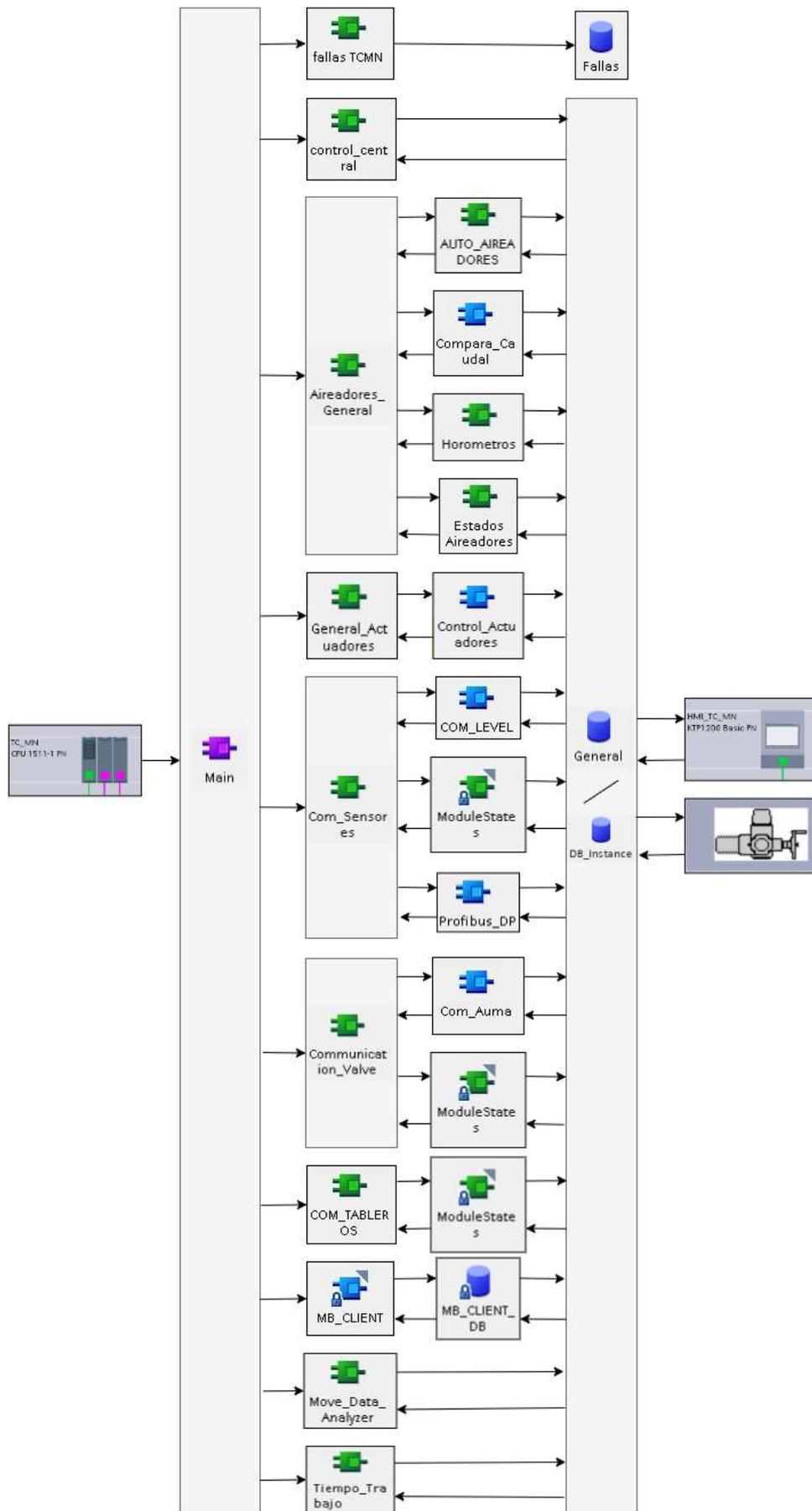


Ilustración 60. Estructura del Programa del PLC TC-Mn

4.2.7.2. Interfaz Humano Máquina TC-Mn

La pantalla HMI del tablero de control TC-Mn establece la transferencia de información sobre el estado de las diferentes variables del proceso, la configuración de parámetros, modos de funcionamiento y avisos de alarmas y fallos, entre el controlador y el operario. La siguiente ilustración muestra la pantalla principal configurada para el tablero de control en cuestión, en la cual se puede observar un estado general del proceso.

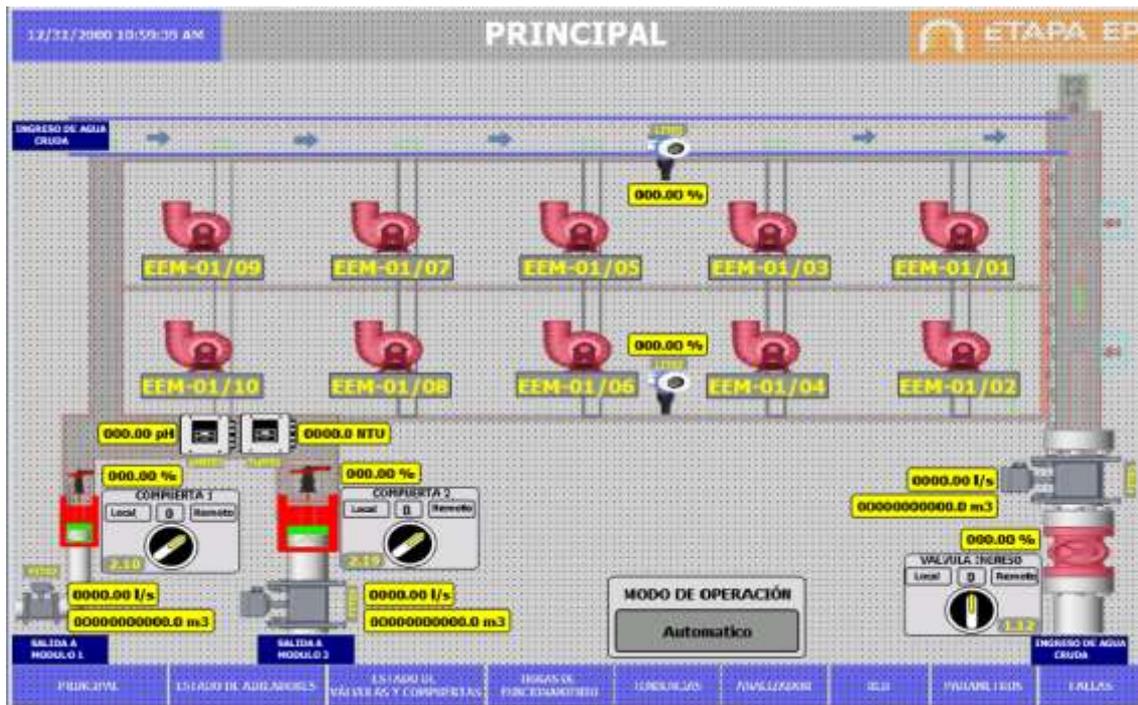


Ilustración 61. Pantalla principal HMI TC-Mn.

En base a los requerimientos de la empresa y/o los operarios se establecen 8 pantallas secundarias para el control y visualización del proceso, las etapas funcionales que se relacionan con este equipo son de Ingreso de Agua Cruda, Control de Manganeseo y Salida.

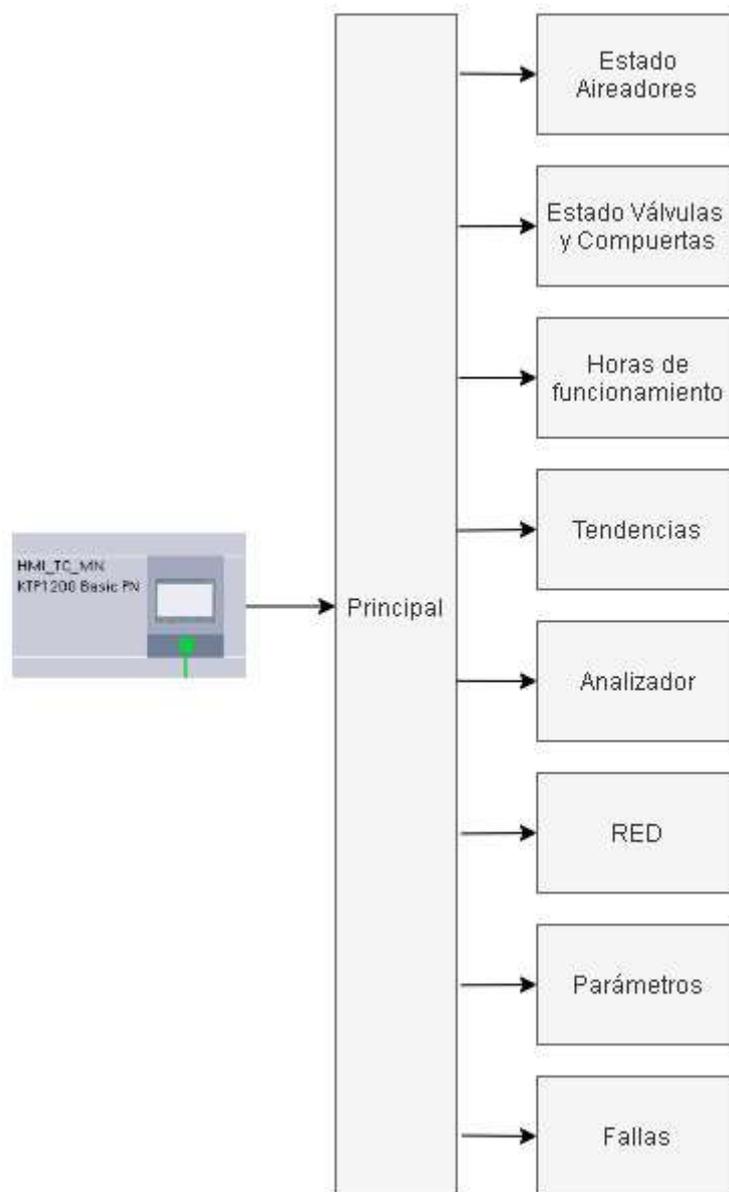


Ilustración 62. Estructura de Pantallas HMI TC-Mn.

4.2.7.3. Autómata Programable TC-Do

El autómata programable TC-Do comprende el control y administración de la etapa funcional de Dosificación de Permanganato, así como su correspondiente interfaz humano máquina. La siguiente ilustración muestra un resumen de los bloques de programa realizados:

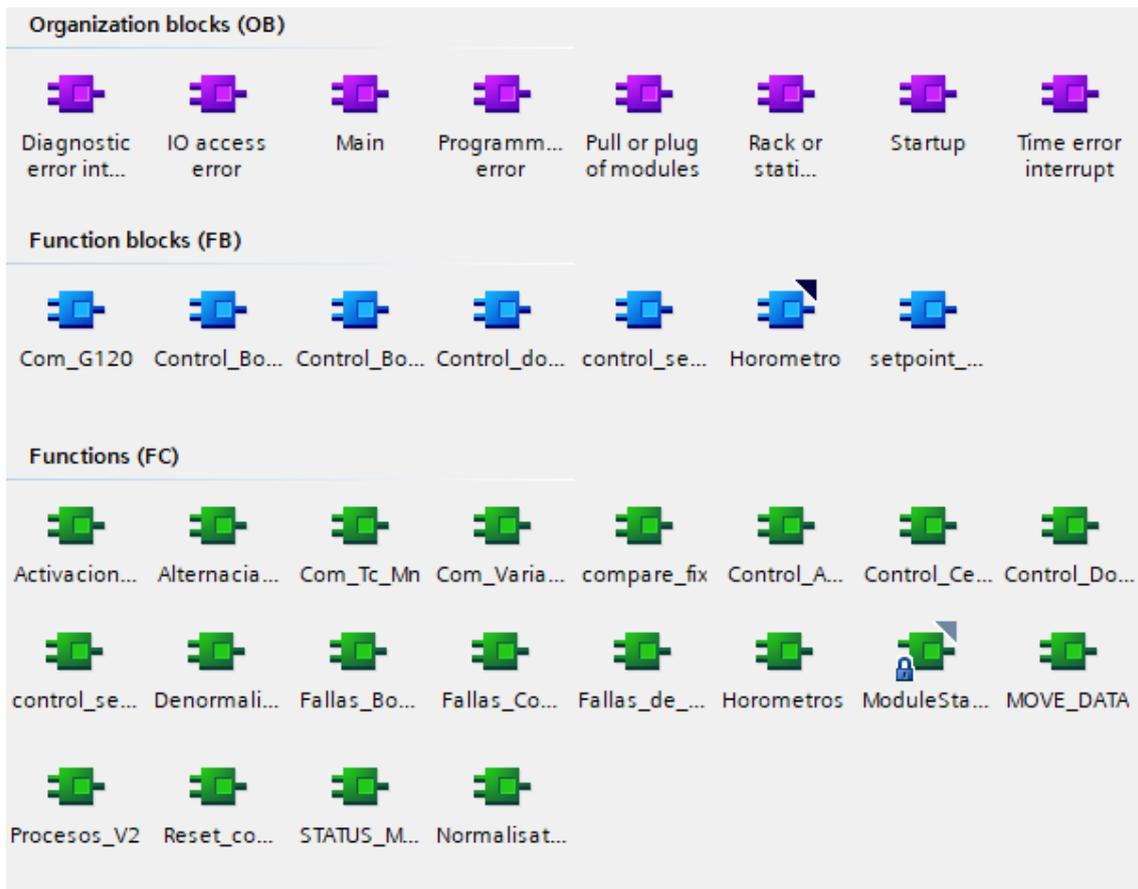


Ilustración 63. Bloques de Programa del PLC TC-Do

Se realizó una programación estructurada, partiendo de un bloque cíclico (OB1) donde se controla mediante funciones o bloques de función las diferentes acciones y la lógica necesarias de acuerdo con los requerimientos de la empresa.

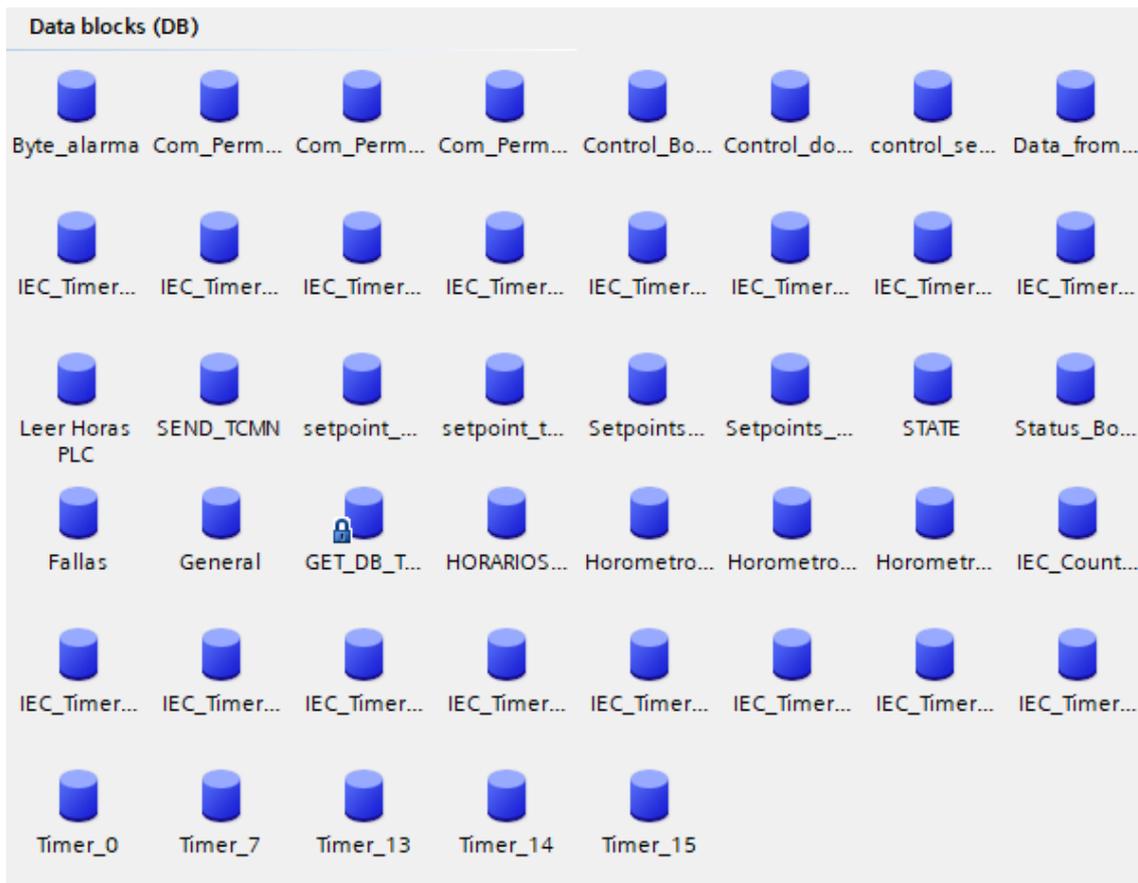


Ilustración 64. Bloques de Datos PLC TC-Do

Los bloques de datos de instancia guardan las variables de su bloque relacional, sin embargo, los bloques de datos globales Fallas y General almacenan la información de fallas y las variables a controlar/visualizar del sistema. La siguiente ilustración muestra la correlación de los elementos funciones, bloques cíclicos, de función y de datos, HMI y los elementos de campo de la etapa de Dosificación.

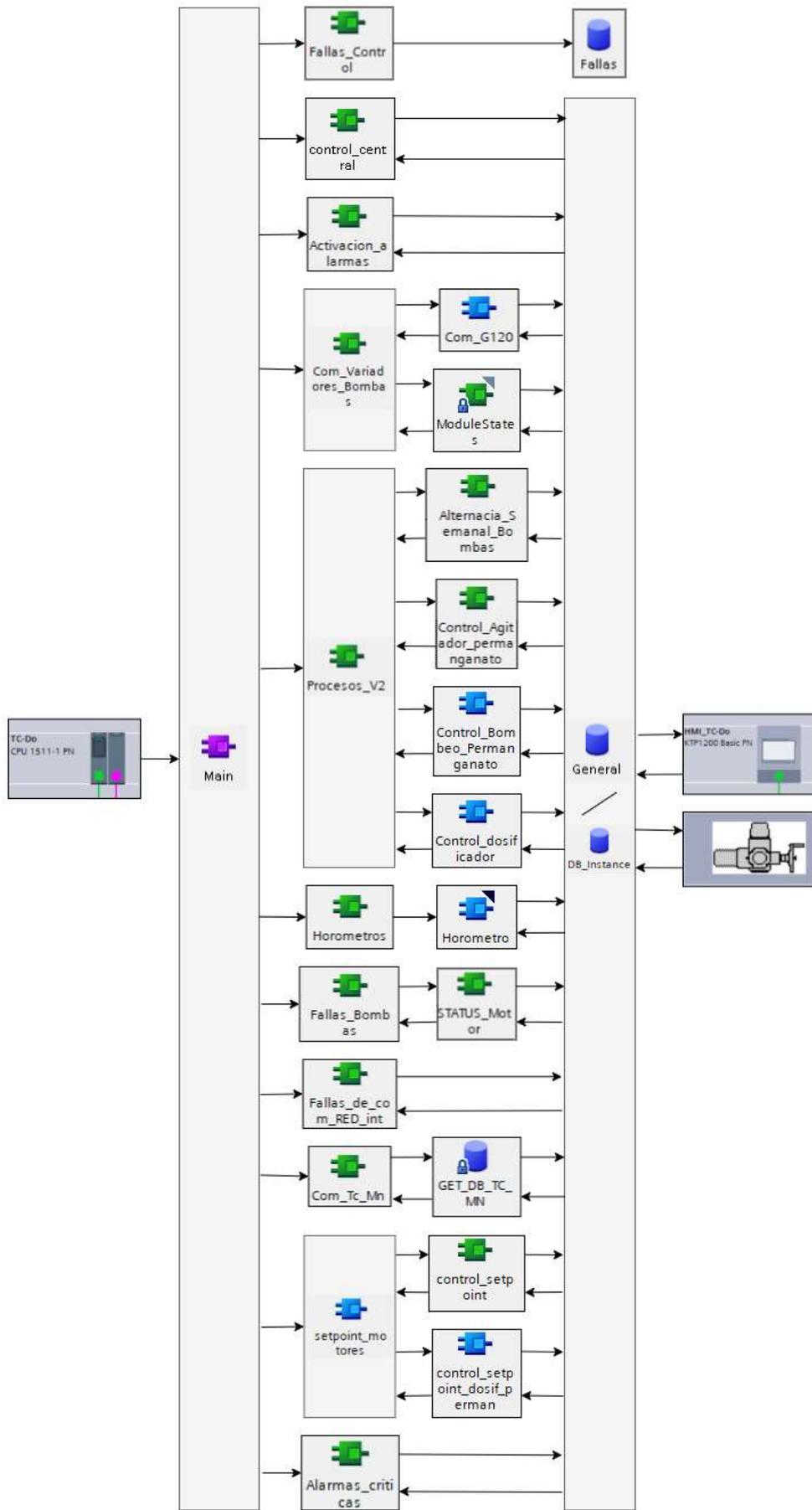
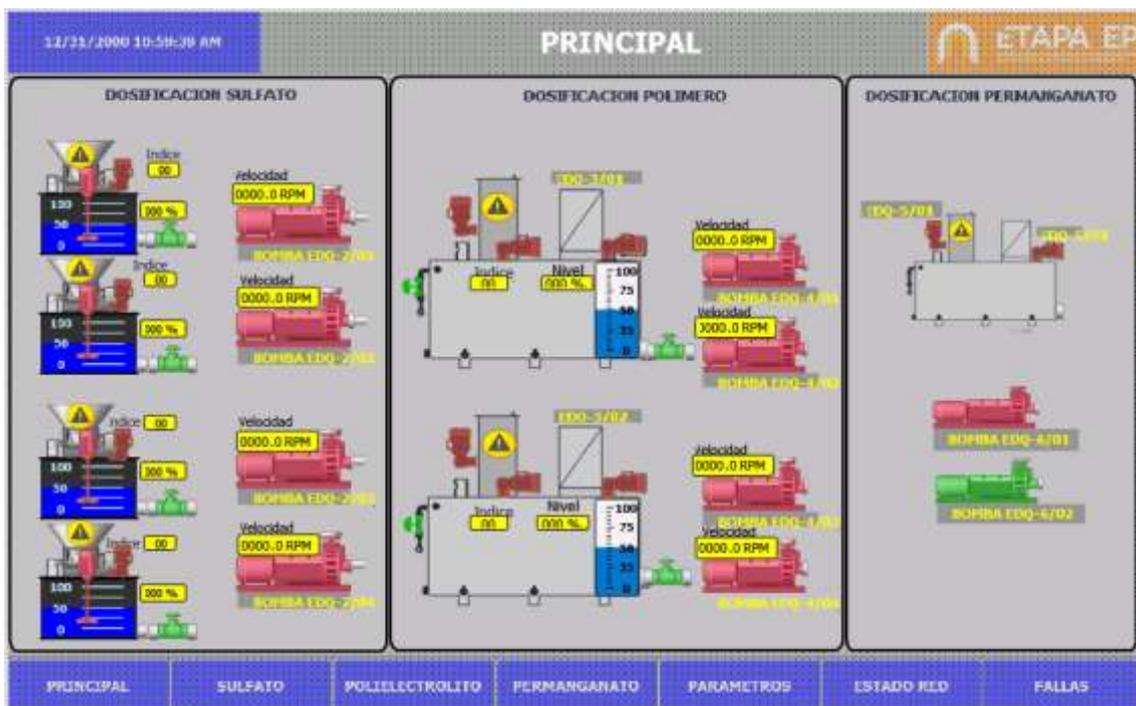


Ilustración 65. Estructura del Programa del PLC TC-Do.

4.2.7.4. Interfaz Humano Máquina TC-Do

La pantalla HMI del tablero de control TC-Do, al igual que en el tablero anterior establece la transferencia de información sobre el estado de las diferentes variables de los procesos de dosificación, la configuración de parámetros, modos de funcionamiento y avisos de alarmas y fallos, entre el controlador y el operario. La siguiente ilustración muestra la pantalla principal configurada para el tablero de control en cuestión, en la cual se puede observar un estado general de los tres procesos de dosificación, sin embargo, el proceso del presente documento es la dosificación de permanganato.



En base a los requerimientos de la empresa y/o los operarios se establecen 4 pantallas secundarias para el control y visualización del proceso de dosificación de permanganato, en este caso únicamente se encuentra relacionado con la etapa funcional de dosificación.

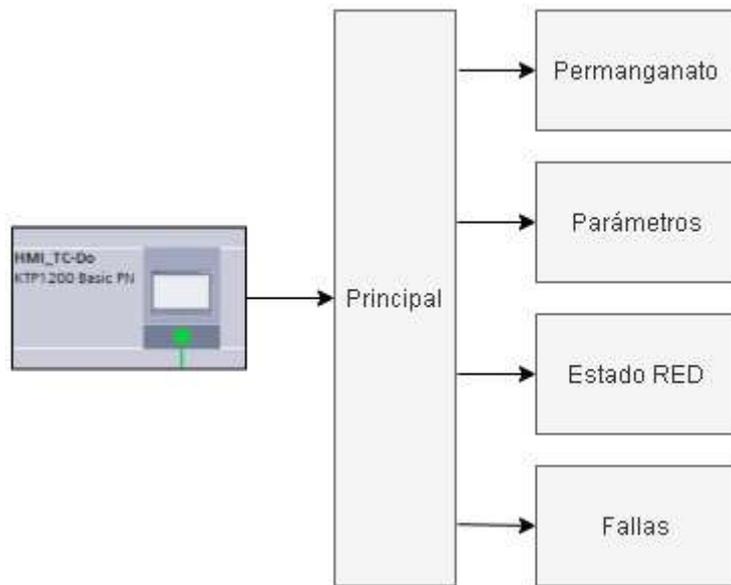


Ilustración 66. Estructura de Pantallas HMI TC-Do

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Operación en modo Automático del Sistema

Se verificó el adecuado funcionamiento de los equipos del sistema y de los valores de las variables relacionadas al proceso y se compararon los valores e indicadores de sus estados tanto en campo como en los diferentes equipos de control y visualización.

5.1.1. Pruebas de Aceptación en Sitio (SAT)

Se realizaron las Pruebas de Aceptación en el sitio en presencia del Tutor Externo el día 30 de junio del presente año aproximadamente a las 11h00.

5.1.1.1. Funcionamiento Tc-Mn

Tabla 26. Resultados de Pruebas de Aceptación de Funcionamiento en Sitio del Tablero Tc-Mn.

TC MN					
Variable/Dispositivo	Campo	Ind. Tablero	HMI	SCADA	RED
Apertura Ingreso	SC	SC	SC	SC	OK
Caudal de Ingreso	903.3	NA	903.27	903.27	OK
Apertura Compuerta MI	0	NA	0	0	OK
Caudal Salida Módulo I	0	NA	0	0	OK
Apertura Compuerta MII	100	NA	100	100	OK
Caudal Salida Módulo II	970.3	NA	970.07	847.5	OK
Analizador de Procesos (Mn)	SC	NA	SC	SC	OK
Nivel Tanque Este	98.07	NA	98.03	98.02	OK
Nivel Tanque Oeste	98.26	NA	98.25	97.84	OK
Interrupción de Nivel BB Este	NA	OFF	OFF	OFF	NA
Interrupción de Nivel BB Oeste	NA	OFF	OFF	OFF	NA
Interrupción de Nivel AA Este	NA	ON	ON	ON	NA
Interrupción de Nivel AA Oeste	NA	ON	ON	ON	NA
Aireadores Encendidos TE	NA	ON	5	5	OK
Aireadores Encendidos TO	NA	ON	5	5	OK
Fallas	0	OFF	0	0	NA
Alarmas	0	OFF	0	0	NA

5.1.1.2. Funcionamiento Tc-Do

Tabla 27. Resultados de Pruebas de Aceptación de Funcionamiento en Sitio del Tablero Tc-Do.

TC DO					
Variable/Dispositivo	Campo	Ind. Tablero	HMI	SCADA	RED
Velocidad Motor Dosificación	372	ON	372.1	372.1	OK
Velocidad Tornillo	13.19	ON	13.1	13.1	OK
Velocidad Bomba 1	1199.9	ON	1200	1200	OK
Velocidad Bomba 2	0	OFF	0	0	OK
Interrupción de Nivel KMnO4 Granulado	NA	OFF	OFF	OFF	NA
Interrupción de Nivel KMnO4 Solución	NA	OFF	OFF	OFF	NA
Fallas	0	OFF	0	0	NA
Alarmas	0	OFF	0	0	NA

5.1.2. Registro de Datos

El registrador de datos del sistema general de la PTAP registra únicamente los datos solicitados por el jefe de planta, por lo que se extrajeron los datos de funcionamiento inherentes a nuestro proceso.

5.1.2.1. Caudales

A continuación, se presentan las gráficas de los caudales de ingreso a los módulos I y II en dos periodos, el primero entre el 25 de junio al 28 de julio del presente año y el segundo entre el 31 de julio al 24 de agosto del mismo año. Las mediciones han sido realizadas cada 10 minutos y almacenadas en el registrador de datos del sistema general. El módulo I se encuentra en desuso durante el periodo en que se realizó el proyecto, en la ilustración 67 se registra un caudal de 700 l/s durante unas horas, esto es debido a que se estuvieron realizando tareas de mantenimiento en el módulo II durante ese tiempo.

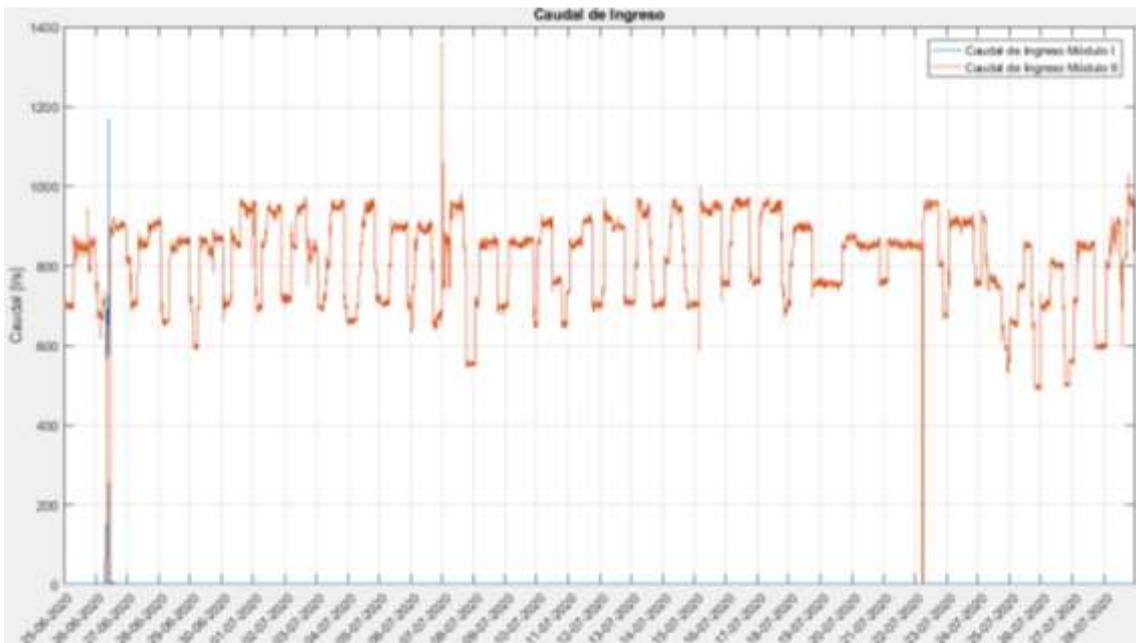


Ilustración 67. Caudales de ingreso durante el periodo 25-06-2020 a 28-07-2020

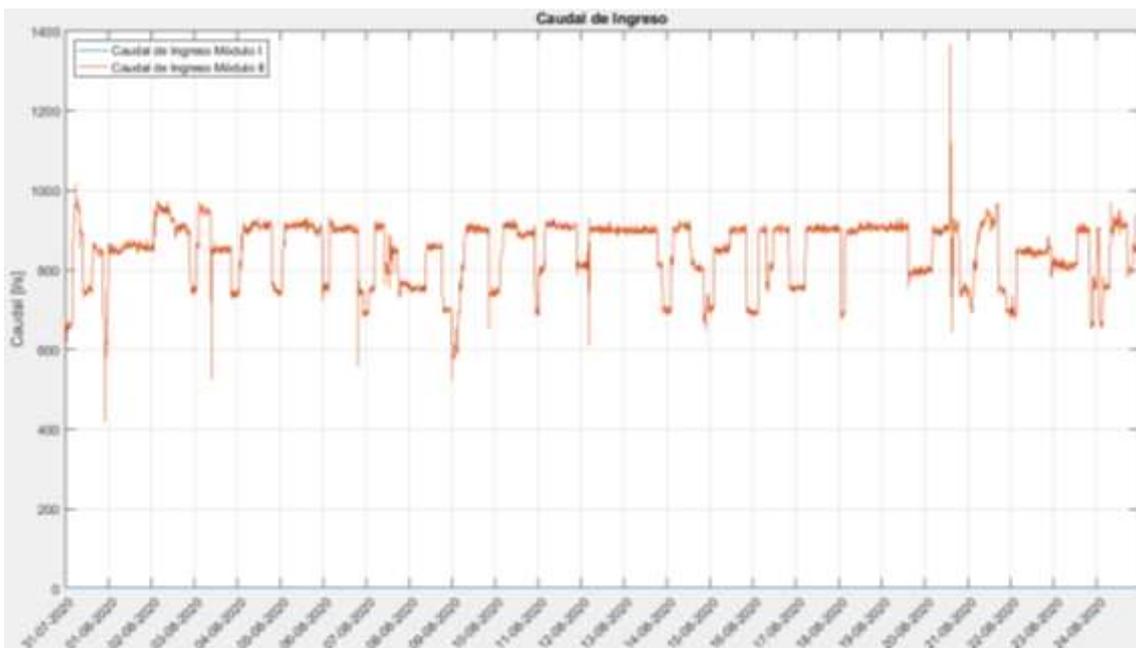


Ilustración 68. Caudales de ingreso durante el periodo 31-07-2020 a 24-08-2020

5.1.2.2. Niveles tanques de Oxigenación

Al igual que los caudales de ingreso, se presentan las gráficas de los niveles de los tanques Este y Oeste en dos periodos, el primero entre el 25 de junio al 28 de julio del presente año y el segundo entre el 31 de julio al 24 de agosto del mismo año. Así mismo las mediciones se han realizado cada 10 minutos y se han almacenado en el registrador de datos del sistema general.

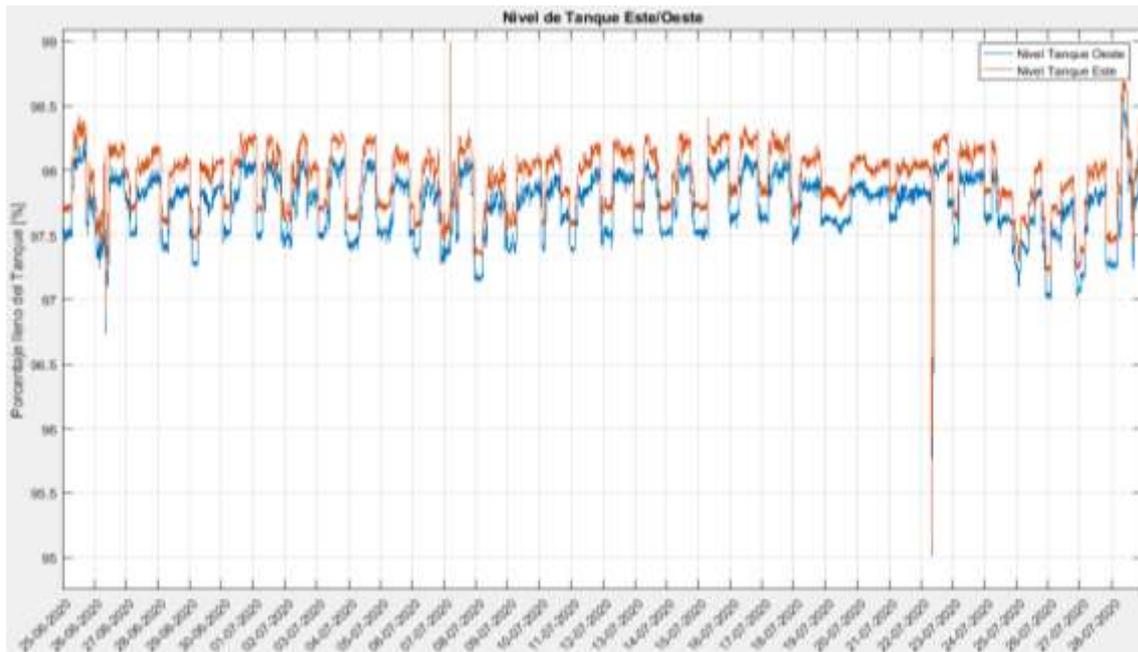


Ilustración 69. Niveles en los tanque Este y Oeste durante el periodo 25-06-2020 a 28-07-2020

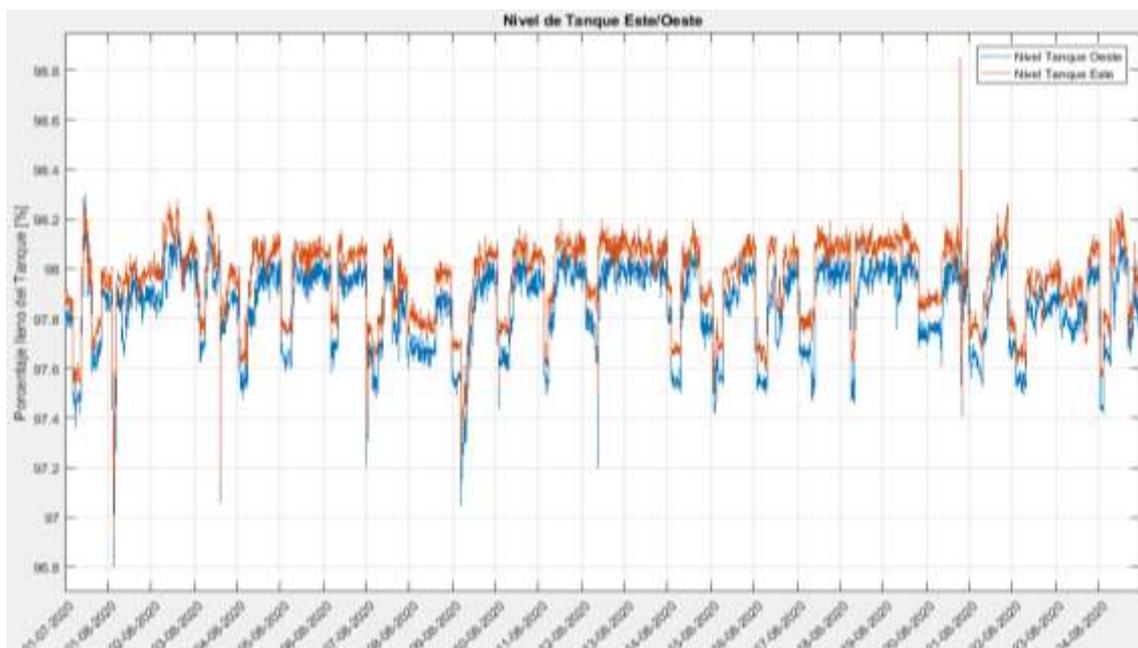


Ilustración 70. Niveles en los tanque Este y Oeste durante el periodo 31-07-2020 a 24-08-2020

5.2. Mediciones de Manganeso

Para comprobar el correcto funcionamiento del sistema se procedió con la medición de la variable a controlar manteniendo el funcionamiento del mismo, en modo automático durante toda la etapa de pruebas. En el caso de la antigua edificación desde el 25 de junio hasta el 28 de julio; y en el caso de la nueva entrada desde el 31 de julio hasta el 24 agosto.

5.2.1. Muestreo

El muestreo y medición final de la variable a controlar se realizó, en 6 puntos específicos a lo largo de la PTAP por el personal del laboratorio. A continuación, en la ilustración 67 se grafican los siguientes puntos.

- i. Agua cruda punto A: Punto de muestreo y medición en el inicio de los tanques de oxigenación.
- ii. Agua cruda punto B: Punto de muestreo y medición al final de los tanques de oxigenación.
- iii. Sedimentadores/Decantadores: Punto de muestreo y medición en los decantadores.
- iv. Filtros: Punto de muestreo y medición en el inicio de los filtros.
- v. Tanque 3: Punto de muestreo y medición en el tanque de reserva N°3 previo a la distribución.
- vi. Tanque 4: Punto de muestreo y medición en el tanque de reserva N°4 previo a la distribución.



Ilustración 71. Puntos de muestro para medición de manganeso

5.2.2. Tablas y Resultados

A partir de las mediciones se obtuvieron los siguientes resultados en el periodo mencionado.

5.2.2.1. Edificación antigua

En la siguiente tabla se muestran los valores medidos por el laboratorio de la PTAP de la concentración de manganeso en los diferentes puntos de medición, la concentración de permanganato de potasio suministrado en $\mu g/l$, el estado de los aireadores al momento de la medición y el porcentaje de remoción de Mn en la entrada antigua.

Tabla 28. Valores medidos de concentración de manganeso y cantidades de $KMnO_4$ dosificado en la entrada antigua

	Cruda Punto A [$\mu g/l$]	Cruda Punto B [$\mu g/l$]	Sedimentador [$\mu g/l$]	Filtro [$\mu g/l$]	Tanque 3 [$\mu g/l$]	Tanque 4 [$\mu g/l$]	Concentración $KMnO_4$ [$\mu g/l$]	Aireación		Remoción [%]
								Si	No	
25/6/2020	79	112	76	47	51	48	120	x		35,44
26/6/2020	53	61	48	37	36	39	120		x	32,08
30/6/2020	94	128	41	21	33	22	240		x	64,89
2/7/2020	57	138	37	13	13	11	240	x		77,19
3/7/2020	46	105	21	15	16	17	240		x	65,22
6/7/2020	45	120	34	2	3	0	300		x	93,33
8/7/2020	51	141	29	16	18	17	300	x		64,71
9/7/2020	49	84	37	22	17	16	300		x	65,31
10/7/2020	55	147	35	10	9	10	400		x	83,64
13/7/2020	60	101	35	2	0	0	450		x	100
16/7/2020	29	83	16	0	2	2	450		x	93,1
23/7/2020	32	154	79	8	4	2	500		x	87,5
24/7/2020	41	141	35	0	0	0	500		x	100
27/7/2020	49	138	28	2	2	0	500		x	95,92
28/7/2020	41	92	19	0	0	0	500		x	100

La ilustración grafica los valores medidos de concentración de manganeso de la tabla anterior junto con el límite permisible que se sitúa en $10 \mu g/l$ de acuerdo con el jefe de planta Ing. Juan Diego Espinoza, límite escogido por normativa interna de calidad en la empresa.

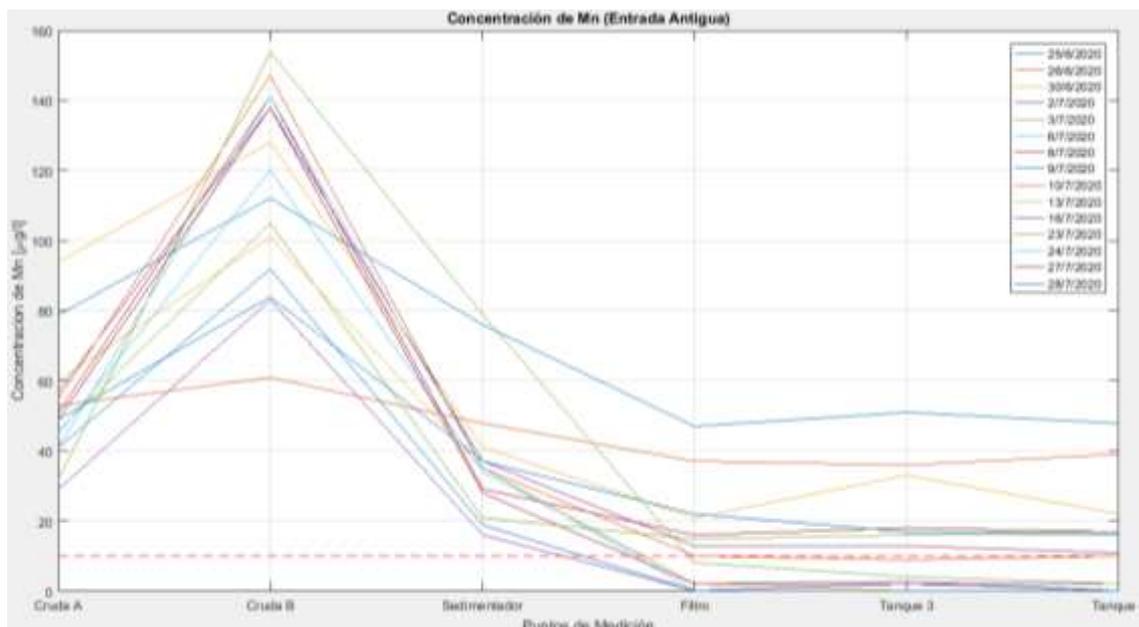


Ilustración 72. Grafica de concentración de manganeso medidos en la edificación antigua de la PTAP Tixán

5.2.2.2. Edificación nueva

En la tabla 29 se muestran los valores medidos por el laboratorio de la PTAP de la concentración de manganeso en los diferentes puntos de medición, la concentración de permanganato de potasio suministrado en $\mu g/l$, el estado de los aireadores al momento de la medición y el porcentaje de remoción de Mn en la entrada nueva.

Tabla 29. Valores medidos de concentración de manganeso y cantidades de $KMnO_4$ dosificado en la entrada nueva

	Cruda Punto A [$\mu g/l$]	Cruda Punto B [$\mu g/l$]	Sedimentador [$\mu g/l$]	Filtro [$\mu g/l$]	Tanque 3 [$\mu g/l$]	Tanque 4 [$\mu g/l$]	Concentración $KMnO_4$ [$\mu g/l$]	Aireación		Remoción [%]
								Si	No	
31/7/2020	43	167	30	10	5	2	500		x	88,37
3/8/2020	58	199	21	5	2	3	500	x		96,55
4/8/2020	59	127	26	11	12	14	500		x	76,27
5/8/2020	59	138	24	5	9	9	500		x	84,75
6/8/2020	63	97	44	19	17	15	500		x	73,02
7/8/2020	66	165	36	8	2	0	500		x	96,97
11/8/2020	67	160	26	10	9	9	500		x	86,57
12/8/2020	73	166	36	3	3	0	500		x	95,89
14/8/2020	80	186	65	0	0	0	500		x	100
17/8/2020	76	138	53	23	21	21	500		x	72,37
19/8/2020	80	115	59	28	25	24	500		x	68,75
22/8/2020	65	77	51	30	29	26	500		x	55,38
24/8/2020	68	71	68	55	47	50	500		x	26,47

También se grafican los valores de concentración de manganeso presentados en la tabla 29. en la ilustración 73., el límite permisible se sitúa en $10 \mu\text{g}/\text{l}$ de acuerdo con el jefe de planta, Ing. Juan Diego Espinoza, límite escogido por normativa interna de calidad de la empresa.

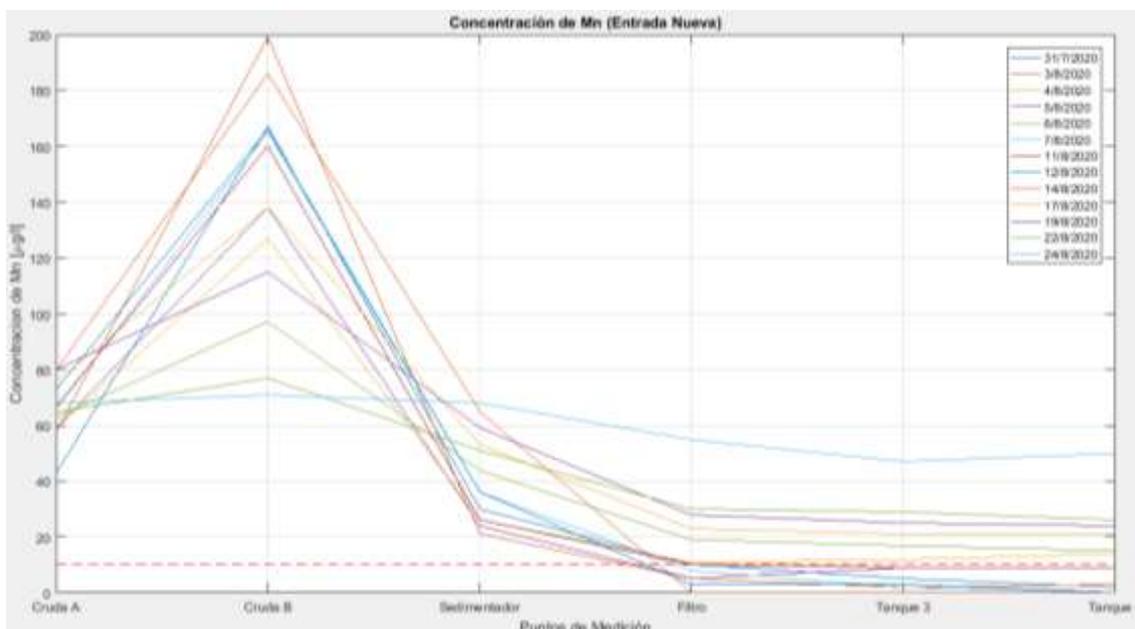


Ilustración 73. Grafica de concentración de manganeso medidos en la edificación nueva de la PTAP Tixán

5.3. Recolección y análisis de resultados

Para lograr el diseño e implementación del sistema de monitoreo y control de manganeso en agua cruda inicialmente se revisó la bibliografía disponible referente a los procesos relacionados al tratamiento de agua, su potabilización y la eliminación de manganeso específicamente, además se contemplaron los estudios y requerimientos mínimos del proyecto.

Se consideró práctico establecer un diagrama de funcionamiento (ilustración 45) y clasificarlo en etapas funcionales de acuerdo con las acciones que se deben realizar en cada una de ellas, pudiendo así clasificar de mejor manera los diferentes elementos.

Los equipos como controladores, instrumentos o actuadores se seleccionaron en función de los requerimientos mínimos, los protocolos de comunicación, las variables a controlar y disposición de tableros de control, en este caso, el tablero TC-Mn controla las etapas funcionales de Ingreso de agua cruda, Control de Manganeso y Salida hacia los módulos I y II; por su parte el tablero de control TC-Do controla únicamente la etapa de

Dosificación de Permanganato de Potasio. Mediante diagramas de tuberías e instrumentación se determinan los lazos de control y las disposiciones de los instrumentos y actuadores, definiendo un lazo de control para tablero correspondiente.

El principal protocolo de comunicación utilizado fue Profibus (DP y PA), el cual presenta alta confiabilidad, rapidez y nos permite conocer el estado de los esclavos en tiempo real transmitiendo una retroalimentación de los mismo, también brinda la posibilidad de ampliación en caso de requerir el incremento de esclavos solo deben ser añadidos al bus de campo. El protocolo de comunicación Profinet fue utilizado para la comunicación con el servidor, equipos de visualización y control como HMI o SCADA y la red de transmisión de datos. Finalmente, el protocolo Modbus TCP/IP se utilizó únicamente para la comunicación con el analizador de procesos Metrohm 2035.

El equipo de dosificación del sistema contempló tres aspectos principales, primero el requerimiento de dosificación, el cual depende de la concentración de manganeso y el caudal de ingreso de agua cruda, esto por un factor resultante de la reducción estequiométrica, este requerimiento estará definido bajo las unidades de $\frac{ug}{s}$ con límites determinados por el caudal máximo de diseño de la PTAP y las especificaciones de concentración máxima y mínima de manganeso y del factor, brindadas por el jefe de planta de la misma; por lo tanto, el tornillo de dosificación se diseñó en base a estos valores donde también se ven inmiscuidas las características propias del químico oxidante. Otro aspecto importante del diseño e implementación del sistema de dosificación fue calibrar los equipos de dosificación en función de la dosificación real del sistema, es por ello que se consideraron las gráficas del sistema funcionando y se encontró con la particularidad de que la dosificación se ajusta al requerimiento para concentraciones de manganeso y caudales de funcionamiento altos, pero en el caso de bajas concentraciones constructivamente el motor no se permite girar a una velocidad menor a 7 RPM, por lo que se diseñó un bloque que calcula un tiempo que debe detenerse el tornillo para alcanzar los requerimientos de dosificación muy bajos ($<0.076\left[\frac{ug}{s}\right]$), dosificando únicamente lo necesario y evitando desperdicios o excedentes de químico en el agua.

La programación de los autómatas se realizó en función de los requerimientos funcionales y operativos del sistema, la estructura de los protocolos de comunicación, la lectura de los instrumentos, la configuración y accionamiento de los actuadores, el envío y recepción de datos, así como los diferentes sistemas de seguridad, alarmas y fallos. Dentro de la programación de los controladores se contempla el manejo de los bloques de datos y su gestión y/o administración remota, la configuración de los equipos de visualización y control correspondiente a cada tablero y las pruebas de funcionamiento.

Finalmente se logró la integración de los diferentes subsistemas eléctricos, electrónicos, mecánicos y de infraestructura de comunicaciones y datos para la consecución del correcto funcionamiento del sistema planteado, cumpliendo con los requerimientos de la PTAP.

5.4. Cronograma

El cronograma del proyecto es atípico debido a la situación por la cual está cruzando el país al momento de realización de proyecto, se ha procurado mantener en lo posible la continuidad de este cumpliendo con las actividades determinadas de acuerdo con la posibilidad de realizarlas. En total se han realizado 440 horas de trabajo distribuidas en 40 semanas.

	Semanas																																															
	23/12/2019	30/12/2019	6/1/2020	13/1/2020	20/1/2020	27/1/2020	3/2/2020	10/2/2020	17/2/2020	24/2/2020	3/3/2020	10/3/2020	17/3/2020	24/3/2020	31/3/2020	7/4/2020	14/4/2020	21/4/2020	28/4/2020	5/5/2020	12/5/2020	19/5/2020	26/5/2020	2/6/2020	9/6/2020	16/6/2020	23/6/2020	30/6/2020	7/7/2020	14/7/2020	21/7/2020	28/7/2020	4/8/2020	11/8/2020	18/8/2020	25/8/2020	1/9/2020	8/9/2020	15/9/2020	22/9/2020								
Levantamiento de la información	█	█																																														
Diseño del sistema																																																
Selección y montaje de equipos																																																
Comunicación planta - Equipos																																																
Programación del sistema																																																
Pruebas de software																																																
Implementación en el PLC																																																
Pruebas y depuración																																																
Recopilación de datos																																																
Elaboración del documento teórico																																																
Entrega del sistema																																																
Horas de trabajo semanal	20	14	7	16	20	14	20	12	20	16	16	15	15	15	15	0	0	15	15	15	12	15	12	12	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	5		

Ilustración 74. Cronograma de desarrollo del proyecto

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIÓN

6.1. Conclusiones

El sistema propuesto logra monitorear y controlar la concentración de Manganeseo en el agua cruda, producto de la PTAP Tixán de ETAPA EP, mejorando su calidad y proceso de potabilización, ya que la etapa de eliminación de manganeso es crucial para buen funcionamiento de la planta en general, debido a que una alta concentración de manganeso puede generar atascos con mayor frecuencia, siendo necesario el mantenimiento con mayor frecuencia. Así mismo si la dosificación de KMnO_4 no es la adecuada y se dosifica en exceso, la durabilidad de la planta se ve disminuida ya que el químico es un potente oxidante que puede corroer tuberías y mecanismos pertenecientes a diferentes etapas de potabilización en donde no debería existir agentes corrosivos. Se han utilizado equipos fiables para la medición y control de las diferentes variables disminuyendo la intervención humana y logrando un control más preciso y adecuado del químico oxidante llegando a cumplir con los requerimientos planteados por la PTAP Tixán.

El análisis de las variables relacionadas al proceso fue de suma importancia porque estas se correlacionan para determinar aspectos funcionales del sistema como el encendido de aireadores, apertura o cierre de compuertas, el control de dosificación del químico oxidante, entre otros. Ayudando a entender de mejor manera el proceso de potabilización para que el sistema que se desarrolló funcione adecuadamente. Este análisis nos permitió determinar rangos en los cuales las variables pueden oscilar de manera que no afecten a la calidad final del agua potable.

La integración de sistemas mecánicos, eléctricos, electrónicos y la gestión de datos hizo posible diseñar e implementar un sistema completo para el monitoreo y control de manganeso en la PTAP en cuestión. El grado de automatización está dado principalmente por la tecnología disponible en cuanto a equipos, sensores y actuadores y las posibilidades que brinda la programación y comunicación entre estos dispositivos.

Las pruebas de funcionamiento se realizaron con éxito pudiendo efectuar modificaciones y adecuaciones de los diferentes subsistemas con el fin de cumplir los requerimientos y normativa interna de la empresa, además se realiza la capacitación y

puesta en marcha del sistema con los encargados y jefe de planta de la PTAP, cumpliendo sus expectativas generales y específicas del mismo.

6.2. Recomendaciones

Para una mejora funcional del sistema se recomienda que el analizador de procesos, el cual debido al contexto en la que se desarrolló el proyecto no se pudo poner en marcha, se ponga en funcionamiento y añada al sistema a la brevedad posible, ya que de momento la medición de la concentración de manganeso la realiza el laboratorio de la planta, si bien la medición es precisa, ésta no se realiza con la frecuencia necesaria para que el sistema controle la concentración de manganeso de forma continua.

El sistema de dosificación de KMnO_4 es dependiente de las características de este al momento de verse en la tolva, por lo que se sugiere que, de ser posible, el fabricante del oxidante garantice las características finales del granulado y que la empresa se asegure de un almacenamiento adecuado del mismo para evitar que más variables entren al sistema obligando a modificar las curvas de funcionamiento de estas. La característica del KMnO_4 que puede afectar el funcionamiento del dosificador en mayor medida es la humedad presente en éste, ya que produce aglutinamiento del material impidiendo que fluya libremente a través del tornillo transportador, provocando que en la etapa de dosificación se produzcan alteraciones al flujo de oxidante calculado. Este problema lo ha notificado el jefe de planta, por lo que se ha añadido una forma de modificar la función de dosificación en caso de que las características del químico en bruto alteren de forma significativa el proceso. Sin embargo, el objetivo es que el sistema se mantenga invariable y funcione de forma completamente autónoma, así que es altamente recomendable que el suministro de KMnO_4 sea fiable y constante. A futuro se recomienda también la integración de instrumentación que pueda determinar otros aspectos externos a los contemplados en el presente estudio como factores ambientales o climáticos que pueden afectar al control del metal en cuestión.

Académicamente consideramos importante el involucramiento de estudiantes en procesos similares, no solo mediante trabajos de titulación, si no también, desde proyectos integradores en las diferentes materias, debido a que estas experiencias brindan al estudiante una componente de aprendizaje práctico aplicado en un proceso específico y una perspectiva más real de la necesidades de los diferentes sectores tanto público como

privados, además que la relación academia – empresa es un eslabón importante en el fortalecimiento de la matriz productiva del país.

BIBLIOGRAFÍA

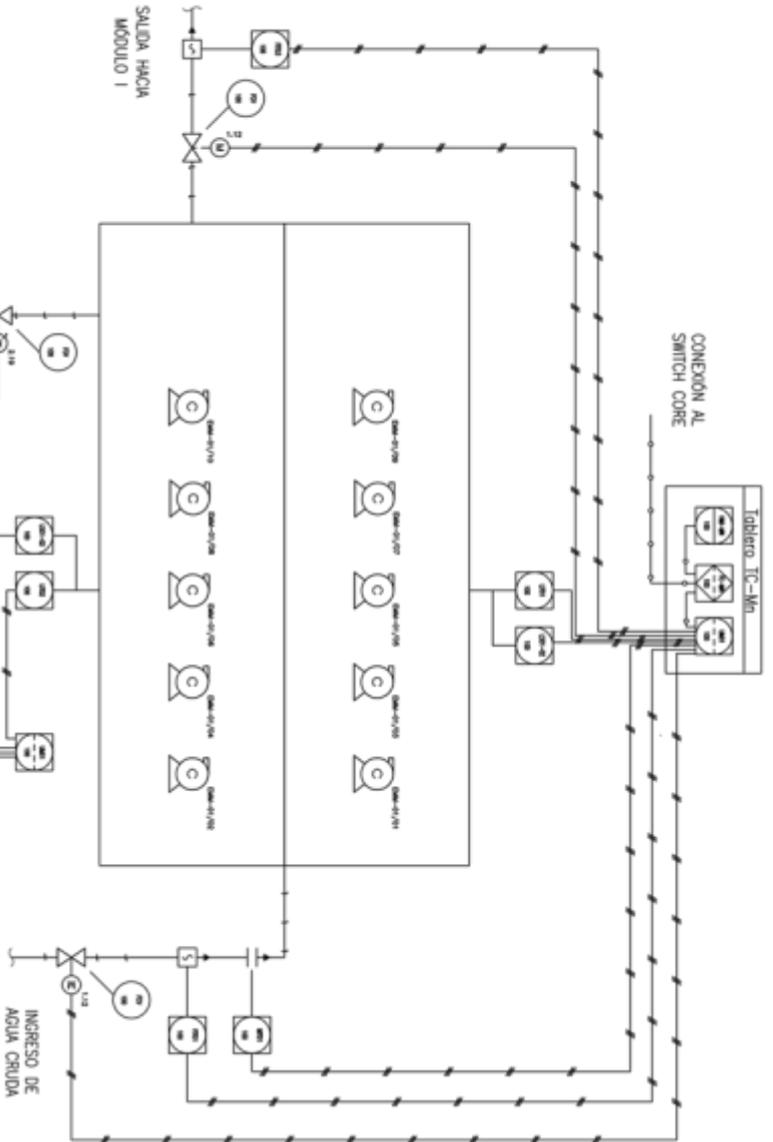
- [1] Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Zaragoza, «Historia de la Ingeniería de Control,» automata.cps.unizar.es, [En línea]. Available: <http://automata.cps.unizar.es/Historia/Webs/IntroduccionI.htm>. [Último acceso: 28 abril 2020].
- [2] R. Herdandez Gaviño, Introducción a los sistemas de control: Conceptos, aplicaciones y simulación con MATLAB, Primera ed., L. M. C. Castillo, Ed., Naucalpan de Juarez: Pearson Educación, 2010.
- [3] FAO, «Capitulo 5: Procesos,» Food and Agriculture Organization of the United Nations, [En línea]. Available: <http://www.fao.org/3/x5062s/x5062S08.htm>. [Último acceso: 28 abril 2020].
- [4] C. Idrovo, «Resumen,» [En línea]. Available: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/2426/1/tq1066.pdf>. [Último acceso: 28 abril 2020].
- [5] E. E. Subgerencia de Ingeniería y Proyectos, «Ampliación de la Capacidad de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Tixán: Módulo II,» Cuenca, 2016.
- [6] Google, «Google Maps,» Febrero 2020. [En línea]. Available: <https://www.google.com/maps/dir/Cuenca/Planta+de+Agua+Potable+de+Tixán,+Cuenca,+Cuenca/@-2.8685933,-79.0295972,13z/data=!3m1!4b1!4m13!4m12!1m5!1m1!1s0x91cd18095fc7e881:0xafd08fd090de6ff7!2m2!1d-79.0058965!2d-2.9001285!1m5!1m1!1s0x91cd1646453ef3ff:0x8bfee7>.
- [7] Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Cuenca, «Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Cuenca,» Municipalidad de Cuenca, Cuenca, 2015.
- [8] Lenntech, «Historia del tratamiento de agua potable,» lenntech.es, [En línea]. Available: <https://www.lenntech.es/procesos/desinfeccion/historia/historia-tratamiento-agua-potable.htm>. [Último acceso: 04 mayo 2020].
- [9] iagua, «Los pioneros del agua en la historia,» <https://www.iagua.es/>, [En línea]. Available: <https://www.iagua.es/noticias/locken/17/02/08/pioneros-agua-historia>. [Último acceso: 04 mayo 2020].
- [10] PennWell Publishing Company, World of water 2000 : the past, present and future, Tulsa: WaterWorld and Water & Wastewater International, 1999.
- [11] W. Buch, «Así es el proceso o etapas para potabilizar el agua,» Aquasistemas, 04 diciembre 2017. [En línea]. Available: <https://aquisistemas.com.gt/sin-categoria/el-proceso-o-etapas-para-potabilizar-el-agua>. [Último acceso: 04 mayo 2020].
- [12] J. Diaz Paredes, «Importancia del Agua,» Universidad de San Martín de Porres, 2013. [En línea]. Available: <https://www.usmp.edu.pe/publicaciones/boletin/fia/info86/articulos/importanciaAgua.html>. [Último acceso: 31 enero 2020].
- [13] ESSAP, «La importancia del agua potable,» Empresa de Servicios Sanitarios del Paraguay S.A., 2019. [En línea]. Available: <http://www.essap.com.py/32217a53b4c76b11a4d967a6ff0dfc14/>. [Último acceso: 31 enero 2020].

- [14] OMS, «Enfermedades relacionadas con el agua,» Organización Mundial de la Salud, 2019. [En línea]. Available: https://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/es/. [Último acceso: 31 enero 2020].
- [15] OMS, «Water-related diseases Arsenicosis,» Organización Mundial de la Salud, 2019. [En línea]. Available: https://www.who.int/water_sanitation_health/diseases-risks/diseases/arsenicosis/en/. [Último acceso: 3 febrero 2020].
- [16] OMS, «Water-related diseases Campylobacteriosis,» Organización Mundial de la Salud, 2019. [En línea]. Available: https://www.who.int/water_sanitation_health/diseases-risks/diseases/campylobacteriosis/en/. [Último acceso: 3 febrero 2020].
- [17] OMS, «Water-related Diseases Cholera,» Organización Mundial de la Salud, 2019. [En línea]. Available: https://www.who.int/water_sanitation_health/diseases-risks/diseases/cholera/en/. [Último acceso: 3 febrero 2020].
- [18] OMS, «Water-related diseases Cyanobacterial Toxins,» Organización Mundial de la Salud, 2019. [En línea]. Available: https://www.who.int/water_sanitation_health/diseases-risks/diseases/cyanobacteria/en/. [Último acceso: 3 febrero 2020].
- [19] OMS, «Water-related diseases Diarrhoea,» Organización Mundial de la Salud, 2019. [En línea]. Available: https://www.who.int/water_sanitation_health/diseases-risks/diseases/diarrhoea/en/. [Último acceso: 4 febrero 2020].
- [20] OMS, «Water-related diseases Fluorosis,» Organización Mundial de la Salud, 2019. [En línea]. Available: https://www.who.int/water_sanitation_health/diseases-risks/diseases/fluorosis/en/. [Último acceso: 7 febrero 2020].
- [21] OMS, «Water-related Diseases Hepatitis,» Organización Mundial de la Salud, 2019. [En línea]. Available: https://www.who.int/water_sanitation_health/diseases-risks/diseases/hepatitis/en/. [Último acceso: 7 febrero 2020].
- [22] OMS, «Water-related Diseases Lead poisoning,» Organización Mundial de la Salud, 2019. [En línea]. Available: https://www.who.int/water_sanitation_health/diseases-risks/diseases/lead/en/. [Último acceso: 7 febrero 2020].
- [23] OMS, «Water-related Diseases Leptospirosis,» Organización Mundial de la Salud, 2019. [En línea]. Available: https://www.who.int/water_sanitation_health/diseases-risks/diseases/leptospirosis/en/. [Último acceso: 12 febrero 2020].
- [24] OMS, «Water-related diseases Methaemoglobinemia,» Organización Mundial de la Salud, 2019. [En línea]. Available: https://www.who.int/water_sanitation_health/diseases-risks/diseases/methaemoglob/en/. [Último acceso: 12 febrero 2020].
- [25] OMS, «Water-related Diseases Schistosomiasis,» Organización Mundial de la Salud, 2019. [En línea]. Available: https://www.who.int/water_sanitation_health/diseases-risks/diseases/schisto/en/. [Último acceso: 12 febrero 2020].

- [26] OMS, «Water-related diseases Anaemia,» Organización Mundial de la Salud, 2019. [En línea]. Available: https://www.who.int/water_sanitation_health/diseases-risks/diseases/anemia/en/. [Último acceso: 12 febrero 2020].
- [27] «Óxidos y oxidróxidos de hierro y manganeso,» Universidad de Castilla - La Mancha, [En línea]. Available: https://previa.uclm.es/_users/higueras/MGA/Tema09/Tema_09_OtrosMin_4.htm. [Último acceso: 24 mayo 2020].
- [28] A. Barrenechea Martel, «Aspectos Fisicoquímicos de la Calidad del Agua,» de *Tratamiento de agua para consumo humano*, vol. I, Lima, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2004, pp. 3 - 56.
- [29] EoZ, «Minerles y Sales,» Instituto de tecnologías rurales A.C., 2019. [En línea]. Available: <https://www.agualimpia.mx/pages/salud>. [Último acceso: 3 marzo 2020].
- [30] OMS, «Guías de Calidad para Aguas de Consumo Humano,» Organización Mundial de la Salud, 2006. [En línea]. Available: https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf. [Último acceso: 3 marzo 2020].
- [31] L. d. Vargas, «Procesos unitarios y plantas de tratamiento,» de *Tratamiento de agua para consumo humano*, vol. I, Lima, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2004, pp. 103 - 150.
- [32] M. T. Leal, «Tecnologías convencionales de tratamiento de agua y sus limitaciones,» de *Posibilidades para la Provisión de Agua Segura Usando Nuevas Tecnologías*, Jiutepec, Instituto Mexicano de Tecnología del, 2005, pp. 63 - 72.
- [33] D. A. Blacio y J. L. Palacios, *Filtros biológicos para la potabilización del agua, posibilidades de uso de fla (filtros lentos de arena) con agua superficial de nuestra región.*, Cuenca, 2011.
- [34] V. Maldonado, «Filtración,» de *Tratamiento de agua para consumo Humano*, vol. II, Lima, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2004, pp. 81 - 145.
- [35] The Ministry of National Infrastructures, «Geochemical Evolution and Manganese Mobilization in Organic Enriched Water Recharging a Calcareous-Sandstone Aquifer; Clues from the Shafdan Sewage Treatment Plant,» Geological Survey of Israel, Jerusalem, 2009.
- [36] R. Elkayam, T. Kraitzer, V. S. Popov, S. Sladkevich y O. Lev, «High Performance of Fixed-Bed Filtration for Reagentless Oxidative Manganese Removal,» *ASCE - Journal of Environmental Engineering*, vol. 143, n° 8, p. 8, 2017.
- [37] J. Jez-Walkowiak, Z. Dymaczewsky y L. Weber, «Iron and manganese removal from groundwater by filtration through a chalcedonite bed,» *Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA*, vol. 64, n° 1, p. 17, 2015.
- [38] P. Phataia, J. Wittayakuna, W.-H. Chenc, C. F. Morales, G. Nurak y C.-C. Kanf, «Removal of manganese(II) and iron(II) from synthetic groundwater using potassium permanganat,» *Desalination and Water Treatment*, vol. 52, n° 31-33, p. 10, 2013.

- [39] R. B. Adams, «Manganese Removal by Oxidation With Potassium Permanganate,» *American Water Works Association*, vol. 52, n° 2, p. 10, 1960.
- [40] A. Shaabani, F. Tavasoli- Rad y D. G. Lee, «Potassium Permanganate Oxidation of Organic Compounds,» *Synthetic Communications: An International Journal for Rapid Communication of Synthetic Organic Chemistry*, vol. 35, n° 571-580, p. 11, 2011.
- [41] Gerencia de agua potable y saneamiento, «Diseños definitivos para la: Ampliación de la Planta de Tratamiento de Agua Potable Tixán - módulo II,» ETAPA EP, Cuenca, 2015.
- [42] J. D. Espinoza, Interviewee, *Ingeniero*. [Entrevista]. 10 febrero 2020.
- [43] E. EP, «ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS DE FUERZA, CONTROL, INSTRUMENTACIÓN, TELECOMUNICACIONES Y MONITOREO PARA LA NUEVA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE TIXÁN,» Cuenca, 2015.
- [44] ETAPA EP, «Filosofía de Control de la Nueva Planta de Tratamiento de Agua Potable de Tixán Contrato de Consultoría N° 08-2015,» Cuenca, 2015.
- [45] Screw Conveyor Corporation, «Screw Conveyor Catalog & Engineering Manual,» 2010.

APÉNDICE (Anexos)



Descripción de Líneas	
	Circuito Hidráulico
	Señal Eléctrica
	Enlace Informático

EAM01/n	Alrededores sumergibles	Control Mn	Alrededor
LSn	Interruptores de nivel redundantes	Control Mn	Instrumento
LIIn	Visualizador Transmisor de Nivel	Control Mn	Instrumento
FI03	Visualizador Transmisor de Caudal SM II	Salida	Instrumento
2.19	Actuador de Válvula Auma 01.2	Salida	Actuador
FI02	Visualizador Transmisor de Caudal SM I	Salida	Instrumento
2.10	Actuador de Válvula Auma 01.2	Salida	Actuador
FI01	Visualizador Transmisor de Caudal Ingreso	Ingreso	Instrumento
1.12	Actuador de Válvula Auma 01.2	Ingreso	Actuador
UM01	Módulos de Comunicación	Control Mn	Transmisor
HMI MN	HMI SIMATIC KTP1200 Basic	Visualización	Interior de Usuario
TC-MN	PLC S7-1511 PN Tablero TC-Mn	Control Mn	Controlador
Tag:	Denominación	Proceso	Tipo de Elemento

Dibujado	Eduardo - Abril	07/06/2020	Ingeniero Mecatrónica	 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	Escudo: NA
Comprobado	Ing. Cristian Beltrán	10/07/2020	SEDE MATRIZ CUENCA		Lámina N° 1.01
Proyección	DIAGRAMA DE INSTRUMENTACIÓN Tablero TC-Mn				

