



REALIZAR UNA PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE EN LA EMPRESA EMCOAAA FOR ESP FORTUL ARAUCA
Universidad de Pamplona – Facultad de Ingenierías y Arquitectura
Departamento MMI – Ingeniería Mecatrónica

REALIZAR UNA PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE EN LA EMPRESA EMCOAAA FOR ESP FORTUL - ARAUCA

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

Autor: Jair Alfonso Rangel Hernández



REALIZAR UNA PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA
POTABLE EN LA EMPRESA EMCOAAAFOR ESP FORTUL ARAUCA
Universidad de Pamplona – Facultad de Ingenierías y Arquitectura
Departamento MMI – Ingeniería Mecatrónica

REALIZAR UNA PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE EN LA EMPRESA EMCOAAAFOR ESP FORTUL - ARAUCA

Autor

JAIR ALFONSO RANGEL HERNÁNDEZ

Optante al título de Ingeniero en Mecatrónica

Director

DIEGO JOSÉ BARRERA OLIVEROS

Magister en controles industriales
Ingeniero en mecatrónica

LUIS ERNESTO NEIRA ROPERO

M.Sc (C) Controles industriales
Ingeniero en mecatrónica

**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
INGENIERÍA MECATRÓNICA
DEPARTAMENTO MMI**



AGRADECIMIENTOS

A la energía y materia del universo que mantiene su equilibrio, a Dios, por darme fuerza y sabiduría en tiempos de crisis y ayudarme a luchar por este gran propósito.

A mi madre Lilia R. Hernández y mi padre Ciro A. Rangel, que han sido unos padres incondicionales, por su apoyo, comprensión, por los principios éticos que han inculcado de ser una mejor persona cada día, a mi madre le debo la vida, gracias por sus sacrificios que siempre está ahí cada vez que la he necesitado en las buenas y en las malas, sin ti y sin tu amor las cosas no hubiesen sido posible, gracias madre.

A mi hermano Esler Y. Rangel Hernández, por ser un padre más, por inculcarme y apoyarme sin límites, ha sido un gran ejemplo a seguir. A mi hermanita Leidy T. Rangel Hernández por ser mi confidente fiel, por quererme, apoyarme, enseñarme. Mi sobrino Julián A. Rangel Clavijo quien no se cansa de preguntar sobre todo lo que amo hacer y acompañarme por largas noches. A mi amigo Armando A. Prieto quien me brindo apoyo incondicional para iniciar esta etapa, a mi familia y amigos que siempre han creído en mí. A mi amiga, compañera y confidente de mi vida por mucho tiempo, Yuleisi León Quiñonez, quien fue esa novia incondicional en mi vida, en mi etapa de aprendizaje, la persona que me acompañó en muchas noches de traspasado y estrés, por entenderme y comprender, por demostrarme que las cosas se pueden hacer de la mejor manera, por darme mucho amor y cariño, por haber sido el amor de mi vida, mi consentida como le solía decir.

Mis directores de trabajo de grado, Magister Diego José Barrera Oliveros e Ingeniero Luis Ernesto Neira Roper, por orientarme en este proceso de investigación que he llevado a cabo, por su tiempo, por resolver las dudas, y por ser un buen ejemplo a seguir.

A la empresa EMCOAAAFOR ESP, por esa oportunidad de afianzar mis conocimientos e indagar en el proceso de la potabilización.



TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	16
1.1. RESUMEN.....	16
1.2. ABSTRACT.....	17
1.3. OBJETIVOS.....	18
1.4. INTRODUCCIÓN.....	19
1.5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN	20
2. ESTADO DEL ARTE Y MARCO TEÓRICO.....	21
2.1. ESTADO DEL ARTE.....	21
2.2. MARCO TEÓRICO	26
2.2.1. TIPOS DE PLANTAS	27
2.2.2. METODOLOGÍA DE DISEÑO QFD, DESPLIEGUE DE LA FUNCIÓN DE CALIDAD	34
2.2.3. SISTEMAS AUTOMATIZADOS	39
2.2.4. NORMATIVIDAD, ESTÁNDARES EN LA INDUSTRIA	47
3. DIAGNÓSTICO Y CARACTERÍSTICAS.....	50
3.1. GENERALIDADES	50
3.2. RESEÑA HISTÓRICA.....	52
3.3. ACUEDUCTO	55
3.3.1. FUENTE DE ABASTECIMIENTO	55
3.3.2. BOCATOMA.....	56
3.3.3. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE	64
4. DESARROLLO DE INVESTIGACIÓN	112
4.1. CRITERIOS DE DISEÑO DE LA MATRIZ QFD	112
4.2. ENCUESTA PERSONAL EMCOAAA FOR ESP	113
5. RESULTADOS	124
5.1. INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL.....	124



5.1.1.	CLASES DE INSTRUMENTOS.....	124
5.1.2.	DIAGRAMAS DE INSTRUMENTACIÓN Y TUBERÍA P&ID.....	125
5.2.	REQUERIMIENTO DE SEÑALES DE ENTRADA Y SALIDAS.....	129
5.3.	SELECCIÓN DE INSTRUMENTACIÓN	132
5.3.1.	SELECCIÓN DE INSTRUMENTOS PRIMARIOS	132
5.3.2.	SELECCIÓN DE INSTRUMENTOS FINALES DE CONTROL.....	144
5.3.3.	SELECCIÓN DEL PLC Y SU ARQUITECTURA	159
5.3.4.	SISTEMAS DE SUPERVISIÓN Y ADQUISICIÓN DE DATOS	163
5.4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	172
6.	CONCLUSIONES	184
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	185
8.	GLOSARIO	191
9.	ANEXOS.....	193
9.1.	ANEXO 1. SOBREVUELO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE EMCOAAAFOR E.S.P.(VIDEO).....	193
9.2.	ANEXO 2. SOBREVUELO DE LA BOCATOMA DE EMCOAAAFOR E.S.P.(VIDEO).....	193
9.3.	ANEXO 3. SIMULACIÓN EN LABVIEW DE LA DESCARGA DE CLORO GASEOSO. (VIDEO).....	193
9.4.	ANEXO 4. PLANO DIAGRAMA DE INSTRUMENTACIÓN Y TUBERIA (PDF).....	193



TABLA DE FIGURAS

<i>Figura 1 Forma de purificar el agua por los egipcios años 1500 y 400 a.C</i>	21
<i>Figura 2 Cloro líquido, curva de temperatura y presión</i>	25
<i>Figura 3 Planta PTAP convencional</i>	28
<i>Figura 4 Coagulación y mezcla rápida en canaleta Parshall</i>	28
<i>Figura 5 Tanque de Flocladores</i>	29
<i>Figura 6 Tanque de sedimentador</i>	29
<i>Figura 7 Tanques de filtración</i>	30
<i>Figura 8 Canal de aguas claras</i>	30
<i>Figura 9 Tanque contactor de cloro</i>	31
<i>Figura 10 Pozo profundo</i>	31
<i>Figura 11 Tanque de almacenamiento de agua tratada</i>	32
<i>Figura 12 Planta potabilizadora modular</i>	33
<i>Figura 13 Planta de tratamiento compacta</i>	33
<i>Figura 14 Matriz QFD, Los QUE</i>	35
<i>Figura 15 Matriz QFD, Los CÓMO</i>	36
<i>Figura 16 Matriz QFD, la matriz de relaciones</i>	36
<i>Figura 17 Matriz QFD, Competencia del mercado</i>	37
<i>Figura 18 Matriz QFD, Las correlaciones</i>	37
<i>Figura 19 Secuencia de la matriz</i>	39
<i>Figura 20 Evolución de los sistemas de automatización y control por computadora</i>	40
<i>Figura 21 Componentes de un sistema de automatización industrial</i>	41
<i>Figura 22 Diferentes partes de un sistema automatizado</i>	42
<i>Figura 23 Esquema típico de un sistema de control distribuido</i>	43
<i>Figura 24 Niveles jerárquicos y sus funciones en un sistema automatizado</i>	44
<i>Figura 25 Representación de las variables dentro de un lazo de control</i>	45
<i>Figura 26 Sistema SCADA típico</i>	47
<i>Figura 27 Ubicación del departamento de Arauca en Colombia</i>	50
<i>Figura 28 Ubicación municipio de Fortul en Arauca</i>	51



<i>Figura 29 Casco urbano del municipio de Fortul 2020 y asentamientos</i>	52
<i>Figura 30 Instalaciones EMCOAAAFOR ESP</i>	54
<i>Figura 31 Homenaje a los colonizadores</i>	54
<i>Figura 32 Rio Banadías, lugar de captación</i>	56
<i>Figura 33 Acceso al sistema de captación</i>	56
<i>Figura 34 Localización sistema de captación municipio de Fortul</i>	57
<i>Figura 35 Bocatoma municipio de Fortul</i>	57
<i>Figura 36 Red de aducción desde la bocatoma hasta el desarenador</i>	58
<i>Figura 37 Caudales medios mensuales rieron Banadías</i>	59
<i>Figura 38 Unidades desarenadoras</i>	61
<i>Figura 39 Desarenador</i>	61
<i>Figura 40 Red de conducción 1</i>	62
<i>Figura 41 Ventosa cámara doble 8"</i>	63
<i>Figura 42 Diagrama de bloques del proceso de potabilización</i>	65
<i>Figura 43 Planta de tratamiento de agua potable</i>	65
<i>Figura 44 Plano estructural PTAP</i>	66
<i>Figura 45 Indicador de pH</i>	68
<i>Figura 46 Regla metálica 30 cm</i>	70
<i>Figura 47 Medidor de flujo Dorot, entrada planta</i>	71
<i>Figura 48 Transmisor del sensor de flujo entrada planta</i>	72
<i>Figura 49 Medidor de flujo, aguas arriba tanque de almacenamiento</i>	73
<i>Figura 50 Cinta métrica 4 m</i>	74
<i>Figura 51 Turbidímetro</i>	77
<i>Figura 52 pH-metro WTW 315i</i>	78
<i>Figura 53 Medidor de pH visual</i>	79
<i>Figura 54 Fotómetro PF-11</i>	80
<i>Figura 55 Medidor de color visual</i>	81
<i>Figura 56 Puntos de medición de la PTAP</i>	82
<i>Figura 57 Comportamiento del pH en agua cruda en temporada de verano Vs tiempo de muestra (Cada dos horas)</i>	83



<i>Figura 58 Comportamiento de la Turbidez en agua cruda en temporada de verano Vs tiempo de muestra (Cada dos horas)</i>	83
<i>Figura 59 Comportamiento del Color aparente UPC en agua cruda en temporada de verano Vs tiempo de muestra (Cada dos horas)</i>	84
<i>Figura 60 Comportamiento del pH en agua cruda en temporada de invierno Vs tiempo de muestra (Cada dos horas)</i>	84
<i>Figura 61 Comportamiento de la Turbidez en agua cruda en temporada de invierno Vs tiempo de muestra (Cada dos horas)</i>	85
<i>Figura 62 Comportamiento del Color aparente UPC en agua cruda en temporada de invierno Vs tiempo de muestra (Cada dos horas)</i>	85
<i>Figura 63 Comportamiento del Cloro Residual en agua tratada en temporada de verano Vs tiempo de muestra (Cada dos horas)</i>	86
<i>Figura 64 Comportamiento del pH en agua tratada en temporada de verano Vs tiempo de muestra (Cada dos horas)</i>	86
<i>Figura 65 Comportamiento de la Turbiedad en agua tratada en temporada de verano Vs tiempo de muestra (Cada dos horas)</i>	87
<i>Figura 66 Comportamiento de Color Aparente UPC en agua tratada en temporada de verano Vs tiempo de muestra (Cada dos horas)</i>	87
<i>Figura 67 Comportamiento del Cloro Residual en agua tratada en temporada de invierno Vs tiempo de muestra (Cada dos horas)</i>	88
<i>Figura 68 Comportamiento del pH en agua tratada en temporada de invierno Vs tiempo de muestra (Cada dos horas)</i>	88
<i>Figura 69 Comportamiento de la Turbiedad en agua tratada en temporada de invierno Vs tiempo de muestra (Cada dos horas)</i>	89
<i>Figura 70 Comportamiento del Color aparente UPC en agua tratada en temporada de invierno Vs tiempo de muestra (Cada dos horas)</i>	89
<i>Figura 71 Motor monofásico dosificador</i>	90
<i>Figura 72 Dosificador de químico sólido</i>	91
<i>Figura 73 Dosificador liquido Hidroxicloruro de aluminio</i>	92
<i>Figura 74 Electrobomba</i>	92
<i>Figura 75 Motor trifásico agitador</i>	93
<i>Figura 76 Tanque de mezclado 500 L</i>	93
<i>Figura 77 Dosificador de hipoclorito de sodio</i>	94
<i>Figura 78 Dimensiones generales de la válvula de compuerta elástica</i>	95



<i>Figura 79 Lista de partes y materiales de la válvula de compuerta elástico.</i>	95
<i>Figura 80 Bypass Tee 8", entrada de la planta</i>	96
<i>Figura 81 Sistema de válvulas de 8", medidor de flujo, filtro en Y,</i>	96
<i>Figura 82 filtro en Yee bridado 8"</i>	97
<i>Figura 83 Válvula de compuerta elástico 8" aguas arriba cámara de quietamiento.</i>	97
<i>Figura 84 Válvulas de compuerta, válvulas aguas arriba del filtro y lavado de filtro</i>	97
<i>Figura 85 Perfil unidades filtrados</i>	98
<i>Figura 86 Válvula de compuerta elástico 8", aguas abajo del canal de aguas claras</i>	98
<i>Figura 87 Válvula de compuerta elástico 8", aguas arriba tanque contactor de cloro</i>	99
<i>Figura 88 Válvula de compuerta elástico 6", lavado del tanque contactor</i>	99
<i>Figura 89 Válvula de compuerta elástico 8"</i>	100
<i>Figura 90 Válvula de compuerta elástico 8"</i>	100
<i>Figura 91 Válvula de compuerta elástico 8"</i>	101
<i>Figura 92 Válvula de compuerta elástico 8"</i>	102
<i>Figura 93 Válvula de compuerta elástico 8" bypass</i>	102
<i>Figura 94 Válvulas de compuerta elástico 8" y 6"</i>	103
<i>Figura 95 Sulfato de aluminio</i>	104
<i>Figura 96 Cal hidratada</i>	104
<i>Figura 97 Hipoclorito de sodio</i>	105
<i>Figura 98 Caseta de dosificación de hipoclorito de sodio</i>	105
<i>Figura 99 Indicador digital de la báscula</i>	106
<i>Figura 100 Bascula con capacidad de 300 kg</i>	106
<i>Figura 101 Reactivo Cl₁</i>	106
<i>Figura 102 Reactivo Cl₂</i>	107
<i>Figura 103 Hidroxicloruro</i>	107
<i>Figura 104 Tanque de almacenamiento de Hidroxicloruro de aluminio</i>	107
<i>Figura 105 Instrumento de ensayo de jarras</i>	108
<i>Figura 106 Gabinete de control eléctrico</i>	110
<i>Figura 107 Generador eléctrico a combustión</i>	111



<i>Figura 108 Metodología a seguir en el diseño.</i>	112
<i>Figura 109 Presentación de la encuesta aplicada</i>	113
<i>Figura 110 Pregunta 1, encuesta aplicada a personal de EMCOAAAFOR ESP</i>	113
<i>Figura 111 Pregunta 2, encuesta aplicada a personal de EMCOAAAFOR ESP</i>	114
<i>Figura 112 Pregunta 3, encuesta aplicada a personal de EMCOAAAFOR ESP</i>	114
<i>Figura 113 Pregunta 4, encuesta aplicada a personal de EMCOAAAFOR ESP</i>	115
<i>Figura 114 Pregunta 5, encuesta aplicada a personal de EMCOAAAFOR ESP</i>	115
<i>Figura 115 Pregunta 6, encuesta aplicada a personal de EMCOAAAFOR ESP</i>	116
<i>Figura 116 Pregunta 7, encuesta aplicada a personal de EMCOAAAFOR ESP</i>	116
<i>Figura 117 Pregunta 8, encuesta aplicada a personal de EMCOAAAFOR ESP</i>	117
<i>Figura 118 Pregunta 9, encuesta aplicada a personal de EMCOAAAFOR ESP</i>	117
<i>Figura 119 QFD 1, Servicios</i>	120
<i>Figura 120 QFD 2, Componentes</i>	121
<i>Figura 121 QFD 3, Procesos</i>	122
<i>Figura 122 QFD 3, Producción</i>	123
<i>Figura 123 Clasificación de los instrumentos de acuerdo a su función</i>	124
<i>Figura 124 Diagrama de flujo del proceso de potabilización</i>	126
<i>Figura 125 Bosquejo de instrumentación y tubería actual a mano alzada</i>	128
<i>Figura 126 Diagrama de instrumentación y tubería actual</i>	128
<i>Figura 127 Diagrama de instrumentación y tubería proyectado</i>	129
<i>Figura 128 Sensor pH</i>	134
<i>Figura 129 Sensor pH RMD-H800</i>	134
<i>Figura 130 Sensor oxígeno disuelto TECMES</i>	134
<i>Figura 131 Sensor oxígeno disuelto RMD-0800</i>	134
<i>Figura 132 Sensor turbidez TECMES</i>	135
<i>Figura 133 Sensor turbidez</i>	135
<i>Figura 134 Sensor TS 330</i>	136
<i>Figura 135 Sensor RMD-CB001</i>	136
<i>Figura 136 Sensor Cloro residual</i>	137



<i>Figura 137</i>	<i>Sensor Cloro residual RMD-Y800</i>	<i>137</i>
<i>Figura 138</i>	<i>Sensor color 45CLR</i>	<i>138</i>
<i>Figura 139</i>	<i>Sensor color CRT 448.S3/444-M12</i>	<i>138</i>
<i>Figura 140</i>	<i>Sensor PT100</i>	<i>139</i>
<i>Figura 141</i>	<i>Sensor de temperatura RLT-3000</i>	<i>139</i>
<i>Figura 142</i>	<i>Sensor de nivel LMP633-NLN</i>	<i>139</i>
<i>Figura 143</i>	<i>Sensor de nivel WNK8010</i>	<i>139</i>
<i>Figura 144</i>	<i>Bomba APG803</i>	<i>145</i>
<i>Figura 145</i>	<i>Válvula REGAL Serie 7000</i>	<i>146</i>
<i>Figura 146</i>	<i>Señales de entrada y salida de la Válvula REGAL Serie 7000</i>	<i>148</i>
<i>Figura 147</i>	<i>Control proporcional del flujo Válvula REGAL Serie 7000</i>	<i>148</i>
<i>Figura 148</i>	<i>Relé de sobrecarga Siemens 3RU2126-4AB0</i>	<i>149</i>
<i>Figura 149</i>	<i>Equipamiento relé de sobrecarga Siemens 3RU2126-4AB0</i>	<i>150</i>
<i>Figura 150</i>	<i>Diagrama de contactos del relé de sobrecarga Siemens 3RU2126-4AB0</i>	<i>150</i>
<i>Figura 151</i>	<i>Contactador Siemens 3RT2025-1BB40</i>	<i>151</i>
<i>Figura 152</i>	<i>Diagrama de contactos del contactador Siemens 3RT2025-1BB40</i>	<i>152</i>
<i>Figura 153</i>	<i>Válvula de control, válvula 3/2 vías</i>	<i>155</i>
<i>Figura 154</i>	<i>Esquemas de válvula de bola 3/2 vías</i>	<i>156</i>
<i>Figura 155</i>	<i>Válvula de bola control tipo V</i>	<i>157</i>
<i>Figura 156</i>	<i>Esquemas de válvula de bola tipo V</i>	<i>159</i>
<i>Figura 157</i>	<i>SIMATIC S7-1200, CPU 1214C, CPU compacta DC/DC/DC</i>	<i>161</i>
Figura 158	Módulos PLC	163
Figura 159	Panel HMI KTP700 Basic	165
Figura 160	Panel HMI TP1200 Comfort	166
Figura 161	Vista de consumidores de 24 VDC	167
Figura 162	Red de la automatización industrial	168
Figura 163	Protocolos de comunicaciones industriales	168
Figura 164	Topología estrella con Ethernet	169
Figura 165	Cable Ethernet Cat. 6	170



Figura 166	Data AX RJ45 Cat. 6 _____	170
Figura 167	Orden del cableado bajo la norma T-568A, T-568B _____	171
Figura 168	Agregando controlador S7-1200 DC/DC/DC en versión V4.2 _____	173
Figura 169	Agregando HMI TP1200 Comfort y KTP700 Basic en versión V15 _____	173
Figura 170	Jerarquía de la interfaz del SCADA _____	175
Figura 171	Acceso al menú principal de la interfaz del SCADA _____	175
Figura 172	Acceso al menú principal de la interfaz del SCADA _____	176
Figura 173	Variables en forma conjunta del proceso grafico _____	177
Figura 174	Variables en forma conjunta del proceso _____	177
Figura 175	Dosificación de Hidroxicloruro _____	178
Figura 176	Dosificación de cloro gaseoso _____	178
Figura 177	Simulación del proceso de dosificación de cloro gaseoso _____	179
Figura 178	Regresión polinómica de apertura (grados) 1-CV-2 en función de la corriente 4-20 mA _____	180
Figura 179	Regresión polinómica de corriente 4-20 mA 1-FIT-3 en función del caudal de (0-49) L/s _____	180
Figura 180	Regresión polinómica de caudal de (0-100) 1-FIT-3 en función del caudal de (0-49) L/s _____	181
Figura 181	Regresión polinómica de descarga (lb/día) 1-CV-6 en función de corriente 4-20 mA _____	181
Figura 182	Regresión polinómica de corriente 4-20 mA 1-CV-6 en función del caudal (0-49) L/s _____	182
Figura 183	Diagrama de flujo de descarga de cloro gaseoso parte 1 _____	183
Figura 184	Diagrama de flujo de descarga del cloro gaseoso parte 2 _____	183



ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 Características de los compuestos clorados</i>	26
<i>Tabla 2 Normatividad de redes inalámbricas en entornos industriales</i>	48
<i>Tabla 3 Normatividad de instrumentación industrial</i>	48
<i>Tabla 4 Normatividad eléctrica</i>	49
<i>Tabla 5 Normatividad comunicaciones industriales</i>	49
<i>Tabla 6 Veredas por distrito del municipio de Fortul</i>	52
<i>Tabla 7 Caudales medios rio Banadías m³</i>	59
<i>Tabla 8 Datos de la fuente para diagnóstico de bocatoma del acueducto</i>	60
<i>Tabla 9 Datos de la rejilla de bocatoma</i>	60
<i>Tabla 10 Válvulas red de conducción 1</i>	62
<i>Tabla 11 Descripción general de conducción 1</i>	63
<i>Tabla 12 Diferentes áreas de la PTAP</i>	66
<i>Tabla 13 Características físico - químicas Resolución 2115 / Decreto 1575 de 2007</i>	67
<i>Tabla 14 Caudal en canaleta parcha de acuerdo a la altura</i>	71
<i>Tabla 15 Instrumentos de medición de caudal de la PTAP</i>	73
<i>Tabla 16 Almacenamiento tanque de almacenamiento</i>	76
<i>Tabla 17 Instrumentos de medición de nivel de la PTAP</i>	76
<i>Tabla 18 Instrumentos de medición de presión de la PTAP</i>	77
<i>Tabla 19 Instrumentos de medición de Turbidez de la PTAP</i>	78
<i>Tabla 20 Instrumentos de medición de pH y Temperatura de la PTAP</i>	79
<i>Tabla 21 Instrumentos de medición de Cloro residual y Color de la PTAP</i>	81
<i>Tabla 22 Puntos medidos y variables analizadas</i>	82
<i>Tabla 23 Elementos finales de control</i>	103
<i>Tabla 24 Insumos químicos y otros elementos</i>	108
<i>Tabla 25 Tablero de control y accionamiento eléctricos</i>	110
<i>Tabla 26 Fuentes de energías alternativas</i>	112
<i>Tabla 27 Señales analógicas de entrada PTAP</i>	130
<i>Tabla 28 Señales analógicas de entrada PTAP</i>	131



<i>Tabla 29 Señales digitales de salida</i>	131
<i>Tabla 30 Señales analógicas de salida</i>	132
<i>Tabla 31 Evaluación de criterios</i>	133
<i>Tabla 32 Evaluación de alternativas</i>	133
<i>Tabla 33 Alternativas para medición de pH</i>	134
<i>Tabla 34 Alternativas para medición de oxígeno disuelto</i>	135
<i>Tabla 35 Alternativas para medición de turbidez</i>	136
<i>Tabla 36 Alternativas para medición de conductividad</i>	136
<i>Tabla 37 Alternativas para medición de cloro libre</i>	137
<i>Tabla 38 Alternativas para medición de color</i>	138
<i>Tabla 39 Alternativas para medición de temperatura</i>	139
<i>Tabla 40 Alternativas para medición nivel de fluido</i>	140
<i>Tabla 41 Escala de ponderación</i>	141
<i>Tabla 42 Ponderación alternativa sensor de pH</i>	141
<i>Tabla 43 Ponderación alternativa sensor de oxígeno disuelto</i>	141
<i>Tabla 44 Ponderación alternativa sensor de oxígeno disuelto</i>	142
<i>Tabla 45 Ponderación alternativa sensor de conductividad</i>	142
<i>Tabla 46 Ponderación alternativa sensor de cloro libre</i>	142
<i>Tabla 47 Ponderación alternativa sensor de color</i>	143
<i>Tabla 48 Ponderación alternativa sensor de color</i>	143
<i>Tabla 49 Ponderación alternativa sensor de color</i>	144
<i>Tabla 50 Instrumentos primarios seleccionados</i>	144
<i>Tabla 51 Características instrumento dosificador de coagulante</i>	145
<i>Tabla 52 Evaluación de alternativas dosificador de coagulante</i>	146
<i>Tabla 53 Características instrumento dosificador de cloro gaseoso</i>	146
<i>Tabla 54 Evaluación de alternativas dosificador de coagulante</i>	147
<i>Tabla 55 Características de relé térmico</i>	150
<i>Tabla 56 Características de contactor 3RT2025-1BB40</i>	151
<i>Tabla 57 Características del calibre del cable en corriente alterna bajo estándar NEC</i>	153



<i>Tabla 58 Características del calibre del cable en corriente alterna bajo estándar NEC</i>	<i>153</i>
<i>Tabla 59 Características del calibre del cable en corriente alterna bajo estándar NEC</i>	<i>154</i>
<i>Tabla 60 Características instrumento de control, válvula 3/2 vías</i>	<i>155</i>
<i>Tabla 61 Evaluación de alternativas válvula de bola 3/2 vías</i>	<i>156</i>
<i>Tabla 62 Dimensiones de válvula de bola 3/2 vías</i>	<i>156</i>
<i>Tabla 63 Características instrumento de control, válvula tipo V</i>	<i>157</i>
<i>Tabla 64 Evaluación de alternativas válvula de bola</i>	<i>158</i>
<i>Tabla 65 Dimensiones de válvula de bola tipo V</i>	<i>159</i>
<i>Tabla 66 Evaluación de alternativas PLC</i>	<i>160</i>
<i>Tabla 67 Diferencia entre CPU</i>	<i>161</i>
<i>Tabla 68 Características CPU 1214C DC/DC/DC</i>	<i>162</i>
<i>Tabla 69 Selección de módulos de PLC</i>	<i>163</i>
<i>Tabla 70 Paneles Basic</i>	<i>164</i>
<i>Tabla 71 Características HMI Siemens KTP700 Basic color DP</i>	<i>165</i>
<i>Tabla 72 Paneles Comfort</i>	<i>166</i>
<i>Tabla 73 Características HMI Siemens TP1200 Comfort</i>	<i>167</i>
<i>Tabla 74 Características de cable Ethernet Cat. 6</i>	<i>170</i>
<i>Tabla 75 Características de conector RJ45 bajo norma IEC 60603-7-51</i>	<i>171</i>



ÍNDICE DE ECUACIONES

<i>Ecuación 1 Dosificación del coagulante</i> _____	109
<i>Ecuación 2 Dosificación del desinfectante</i> _____	109
<i>Ecuación 3 Método lineal</i> _____	133
<i>Ecuación 4 Descarga de desinfectante en función del caudal de entrada</i> _____	179



1. INTRODUCCIÓN

1.1. RESUMEN

El presente documento busca constituir los conceptos fundamentales de la automatización industrial, a partir de la propuesta que contempla las descripciones del proceso del tratamiento del agua potable (PTAP) en la empresa comunitaria de acueducto, alcantarillado y aseo urbano y rural del municipio de Fortul - Arauca, EMCOAAAFOR ESP, que permita dar cumplimiento en el mayor grado al decreto 1575 de 2007 y resolución 2115 de 2007 en relación a la protección y control de calidad del agua para el consumo humano, esto a partir de un proceso real de potabilización, con la intención de lograr una posterior implementación de tipo industrial, monitoreando y controlando la calidad del agua, previniendo riesgos para la salud humana causados por el consumo.

Inicialmente, realizando un diagnóstico del sistema se podrá determinar el estado de la planta de tratamiento del proceso actual, este diagnóstico tendrá como finalidad analizar cada uno de los instrumentos, máquinas, protocolos de comunicación, normas de seguridad, conocimiento del operario, ubicación geográfica, planos estructurales, una vez se obtenga la información del estado actual de la planta, se procederá a aplicar el despliegue de la función de calidad asistiendo a los requerimientos de diseño, siendo esta una herramienta de planificación que desarrolla la metodología para transmitir las características que se deben contemplar a lo largo de todo el proceso.

El sistema de automatización que será diseñado se apoyará con tecnología Siemens la cual abarca la plataforma integrada de automatización TIA portal, de ser el caso garantice una configuración adaptativa, permitiendo la cooperación entre equipos con la máxima flexibilidad, logrando el control de las variables directas del proceso a través de las redes de comunicación y el sistema de supervisión, control y adquisición de datos SCADA, plasmados en los diagramas de tuberías e instrumentación.



1.2. ABSTRACT

This document seeks to constitute the fundamental concepts of industrial automation, based on the proposal that will contemplate the descriptions of the process of drinking water treatment (PTAP) in the community company of aqueduct, sewerage and urban and rural cleaning in the municipality of Fortul - Arauca, EMCOAAAFOR ESP, that allows for compliance to the greatest extent possible with Decree 1575 of 2007 and Resolution 2115 of 2007 in relation to the protection and quality control of water for human consumption, this based on a real process of potabilization, with the intention of achieving subsequent implementation of an industrial type, monitoring and controlling the quality of water, preventing risks to human health caused by consumption.

Initially, making a diagnosis of the system will be able to determine the status of the treatment plant of the current process, this diagnosis will aim to analyze each of the instruments, machines, communication protocols, safety standards, knowledge of the operator, geographical location, structural plans, once the information is obtained from the current state of the plant, will proceed to implement the deployment of the quality function attending to the design requirements, this being a planning tool that develops the methodology to convey the characteristics that must be considered throughout the process.

The automation system that will be designed will be supported by Siemens technology which includes the integrated automation platform TIA portal, if the case guarantees an adaptive configuration, allowing the cooperation between teams with maximum flexibility, achieving the control of direct process variables through the communication networks and the SCADA supervision, control and data acquisition system, embodied in the piping and instrumentation diagrams.



1.3. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Realizar una propuesta de automatización para la planta de tratamiento de agua potable en la empresa EMCOAAAFOR ESP Fortul - Arauca.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un diagnóstico a la PTAP, determinando los parámetros de necesarios para llevar a cabo las diferentes tareas, identificando las necesidades y expectativas de la planta a través del despliegue de la función de calidad atendiendo los requisitos de diseño.
- Seleccionar la instrumentación adecuada para la medición, conversión y registro de variables del proceso.
- Realizar los diagramas del proceso industrial con la simbología de instrumentación para de la PTAP.
- Diseñar un sistema SCADA para la planta de tratamiento de agua potable para la empresa EMCOAAAFOR ESP.
- Validar una parte del proceso de la propuesta de automatización de la planta de tratamiento de agua potable.



1.4. INTRODUCCIÓN

El agua, es la fuente natural a la que debemos acudir para el sostenimiento de la vida, sin embargo, la misma humanidad ha contaminado las fuentes hídricas donde se hacen la captación de este recurso haciéndola no apta para el consumo, por lo que no hemos visto obligados a la utilización de las plantas de tratamiento de agua potable PTAP permitiendo el consumo del recurso en condiciones óptimas. A nivel mundial, muchas plantas de tratamiento de agua potable, han emprendido estrategias que se permitan optimizar sus costos de producción y minimizar los riesgos ambientales, laborales, entre otros, esto ha conllevado a la ejecución de proyectos de automatización, los cuales requieren la intervención de esquemas y modelos de control aumentando las probabilidades de mejora. Por la demanda de la producción debemos adaptarnos a nuevas tecnológicas que nos proporcionan la manipulación de grandes cantidades de información en tiempo real.

El presente trabajo inicia con las generalidades del proyecto, presentando el planteamiento del problema que da la base de los objetivos, teniendo en cuenta las expectativas de la empresa se lleva a cabo la planificación mancomunada logrando obtener mejores resultados a partir del diagnóstico por medio del despliegue de la función de calidad, exponiendo los parámetros de potabilización de agua exigidos por la normativa colombiana.

A través de los estudios realizados se determinan los elementos primarios, transmisores, controladores y finales de control estipulados en un diagrama de instrumentación y tubería, pudiendo llevar un control, supervisión y registro de las mismas. De esta forma se podrá controlar el proceso, reduciendo tiempo, por lo anterior expuesto, se hace imprescindible la implementación de un modelo que permita controlar parámetros, medir resultados y evaluar errores, a fin de simplificar y estandarizar los procesos para el control de los proyectos de automatización, además de ejercer el seguimiento administrativo de las actividades, optimizando los recursos para lograr los objetivos definidos en el alcance establecido para estos e incrementando las probabilidades de éxito en la culminación del mismo.

Vale destacar que la investigación tiene como objetivo principal, presentar un modelo para el control del proyecto de automatización con la finalidad de ser implementado en la industria de la potabilización del agua y sus beneficios están reflejados desde el ámbito social.



1.5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

La planta de tratamiento de agua potable de EMCOAAAFOR ESP, actualmente lleva a cabo el proceso de potabilización de forma manual donde no involucran control sobre el proceso por medio de protocolos de comunicación, la mayoría de las etapas del proceso se requiere de la intervención de un operador para que funcione adecuadamente la PTAP, este debe realizar la toma de muestras de forma manual en varios puntos de la planta, resultando complejo al ir aumentando las variables del proceso donde algunas variables dependen de otras. Por este motivo se hace necesario, llevar a cabo una propuesta donde se integren todos los mecanismos necesarios que permitan determinar el costo, instrumentos, equipos y personal necesario, llevando a cabo su posterior implementación.

Optimizando así los procesos que realiza la planta de tratamiento de agua potable, aumentando su eficiencia, de esta forma el operario puede agilizar sus labores y realizar las respectivas funciones de la planta de una forma precisa y controlada, de acuerdo a las condiciones del proceso aumentando la calidad del agua en la producción, de esta forma poder abastecer las necesidades de la comunidad.



2. ESTADO DEL ARTE Y MARCO TEÓRICO

2.1. ESTADO DEL ARTE

A continuación, se describirán algunas de las investigaciones y artículo relacionados con las ingenierías e innovación en el campo industrial, donde se evidenciará la acción de profesionales que realizaron investigaciones que permitieron el avance del tratamiento del agua.

Desde el principio del tiempo registrado, las personas han buscado formas de mejorar la "calidad y seguridad del agua que beben". Mientras que algunos pueden pensar en el amanecer de un nuevo milenio que hemos encontrado las respuestas para hacer el agua segura, de hecho, todo lo que hemos hecho es refinar las técnicas que han estado en uso desde antes del amanecer del último milenio.[5] Disponer de agua apta para el consumo humano es parte fundamental de la civilización, esto ha conllevado a la implementación de técnicas que permita la adquisición de este recurso hídrico en óptimas condiciones, no siempre fue así, han pasado muchos años desde que las antiguas civilizaciones iniciaron a filtrar el agua, hervir o almacenarla en vasijas de cobre para mejorar sus características, estos eventos ocurrieron entre los años 4.000 y 2.000 a.C , la historia del tratamiento del agua está llena de personas ingeniosas que hicieron posible este proceso.[5] En la *figura 1* se observa un método aplicado por los egipcios



Figura 1 Forma de purificar el agua por los egipcios años 1500 y 400 a.C
[5]



Los egipcios en los años 1.500 y 400 a.C. purificaban el agua hirviendo sobre el fuego, calentándose al sol o sumergiendo una pieza de hierro caliente dentro de la misma y filtrar a través de arena o grava para luego dejarla enfriar. Además, en el antiguo Egipto dejaban el agua en vasijas de barro durante varios meses para que se precipitan las partículas e impurezas y mediante un sifón se extraía el agua de la parte superior, esto se conoce como decantación, para posteriormente consumirla. En otras ocasiones incorporaron ciertas sustancias minerales compuestas por sulfuro de potasio o aluminio para facilitar la precipitación de partículas y clarificar así el agua conocido como alumbre, esto se conoce como coagulación, la filtración a través de recipientes porosos e incluso la filtración con arena y grava se han prescrito durante miles de años. En sus escritos sobre la higiene pública, Hipócrates (460 - 354 a.C.) recomendó que el agua se hirviera y se colara antes de beberla. La bolsa de tela que recomendó para colar se conoció más tarde como la "manga de Hipócrates". [5]

El periodo de renacimiento, que comenzó a fines de siglo XIV, puso fin al estancamiento científico e intelectual de la edad media y provocó un nuevo periodo filtración y Enfermedad A finales del siglo XIX, mientras se hacían mejoras en los sistemas de filtración, la teoría de los gérmenes de las enfermedades se estableció firmemente como resultado de las investigaciones de Louis Pasteur, Robert Koch y otros. En 1884, Koch aisló el agente causal del cólera, el cólera Vibrio. [5]

La desinfección del agua

Los primeros métodos de tratamiento de agua trataban especialmente de mejorar sus características, eliminar su turbidez, color, olor o sabor desagradable, consecutivamente se dieron cuenta que no era suficiente e iniciaron a ratificar las enfermedades causadas por el agua por la existencia de microorganismos perjudiciales como virus, [3] bacterias y hongos, las cuales entran a nuestro cuerpo y atacan nuestras células, ya sea matando o robando su alimento. En cierto momento de la historia más reciente nace el concepto de agua potable, la cual encierra todas las características microbiológicas y cualidades físicas que la hacen inofensiva a nuestro cuerpo, el tratamiento gira en torno al medio usado para conseguirla, como el agua superficial, agua de un río, arroyo, lagos naturales o artificiales y aguas subterráneas. [3][5]



La primera aplicación a gran escala de cloro líquido para la desinfección del agua comenzó en 1912 en la planta de filtrado de las Cataratas del Niágara en el oeste de Nueva York Wáter Co, utilizando el equipo desarrollado por el Dr. Georg Ornstein con la ayuda de H.F. Huy, Ingeniero Asistente Principal del plan. [5]

El cloro elemental fue descubierto por el botánico y químico sueco Karl Wilhelm Scheele (1742-1786) [11]. Este elemento es el segundo miembro de la séptima columna de la tabla periódica de Mendelehef, su núcleo, se encuentra rodeado por una capa externa de 7 electrones. Debido a que su estructura tiene una gran estabilidad, los átomos de cloro poseen una fuerte tendencia a adquirir un electrón extra para llegar a 8. Esta tendencia, se manifiesta es un agente oxidante y funciona como tal, en la mayoría de sus reacciones químicas.

Inicialmente, el uso de cloro por intermedio de sus compuestos oxidantes aplicados al agua, fue hecho con otros propósitos y no precisamente para la desinfección. Alrededor del año 1830, se realizaba su aplicación a las aguas que contenían materia orgánica con la finalidad de mejorar las características organolépticas [12] [13]

Años después en 1896, cuando se realizaban las históricas experiencias de uso de filtros rápidos. En Louiseville, Ky, el ingeniero George W. Fuller, uso el cloro que produjo localmente en células electrolíticas, con la finalidad de ayudar a la filtración. Algunos años después en 1902, el belga Maurice Duyle, introdujo el uso del cloro en las instalaciones de la planta de tratamiento de agua de Middlekerke, junto con el cloruro férrico, para ayudar al proceso de la coagulación.

Ante el gran uso que empezó a darse al cloro en el tratamiento de aguas, por iniciativa de William Orchard, se creó el instituto de cloro (chlorine institute) con la finalidad de desarrollar estudios y trabajos de investigación para utilización de cloro. Para dirigir estos trabajos fue designado el especialista L.H. Enslow. [14] El cloro líquido, recién fue producido en los estados unidos en forma comercial, en el año 1909 por la Electro Bleaching Gas Co. Utilizando el mismo año de manera experimental en la desinfección de aguas por el mayor C.R. Darnall en Fort Myer, Virginia en noviembre 1912.

La fuente de agua para Minneapolis, Minnesto, en 1910 fue el rio Mississippi. Esta ciudad contaba con una población alrededor de 380.000 personas y se bombeaban acerca de 97 millones de galones. [5] Las enfermedades como la fiebre tifoidea transmitidas a través del consumo del agua, la potabilización se



hacia primordial por lo que se hicieron grandes avances y se instalaron filtros lentos de arena el 25 de febrero de 1912, se puso en funcionamiento un sistema de tratamiento con cloruro de cal. [3] [14]

El equipo de aplicación de cloro líquido, fue inventado por George Orstein de la compañía Electro Bleaching Gas, en que disolvía un pequeño chorro de gas de cloro en una pequeña corriente de agua, la que luego se introduciría como solución en el mayor volumen de agua. La compañía Electro Bleaching Gas (ahora llamada compañía Niagara Alkali) fabricó hasta el año 1917 el equipo Ornstein. En el año 1913 C.F. Wallece y M.F. Tiernan produjeron un nuevo equipo, basada en la patente Ornstein, el que además de medir el gas cloro, lo disolvía en el agua y aplicaba la solución. El hecho de existir un equipo confiable, influyó notablemente para generalizar el uso del cloro líquido en a la desinfección del agua potable.[14]

El cloro residual se manejaba de 0.05 mg/l en todos los puntos del sistema de distribución de agua, esto no era muy conveniente ya que en los tramos cercanos a la salida del almacenamiento se producían elevadas concentraciones, esto se daba por las extensas tuberías. [14] El cloro residual mantenido en la red, no se era suficiente para destruir las bacterias que integran dicho sistema, en Europa se maneja de una forma distinta, por otro lado, hay muchas plantas o sistemas que no usan el cloro residual, por lo que se obligan a mantener una presión positiva constante, garantizando el suministro, según los especialistas.

En cuanto a los países latinoamericanos, por intermedio de la representación de la OPS, se han obtenido gran información desde los países como [14] Brasil con la intervención del Dr. Francisco Borges Viera y Dr. Geraldo Horacio de Paula Souza quien tomó la dirección del sistema sanitario del estado de Sao Paulo, partir del año 1926 las demás ciudades brasileñas también decidieron adoptar esta técnica de desinfección, en San José de Costa [14] Rica era abastecido de agua potable por un complejo que aún se llaman Planta Alta, Planta Baja, Fuentes de Carazo y fuente de Chiquite, a fines de la década de los 40, la concienciación del gobierno ayudó a implementar la construcción de plantas de filtros lentos para pequeñas comunidades, quien usaban la cloración como método de desinfección por medio del instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, en [14] Honduras el gobierno inglés donó en 1986, 18 cloradores Wallece and Tiernan, tres de los cuales se instalaron en Tegucigalpa y el resto en otros lugares del país, en [14] Perú se aplicó sulfato de aluminio como coagulante, filtración por medio de unidades rápidas y desinfección por medio de la aplicación del cloro, de todas



estas obras se encargó el Ing. Carlos W. Sutton además el Ing. Walter J. Spalding quien hizo un estudio de mejora del servicio con una construcción de un reservorio de concreto armado de 26.000 m³ de capacidad .

El cloro envasado puede estar en forma gaseosa, líquida o ambos, el gas y el líquido existe en estado de equilibrio para todas las condiciones de temperatura y presión, sus valores se muestran en la *figura 2*.

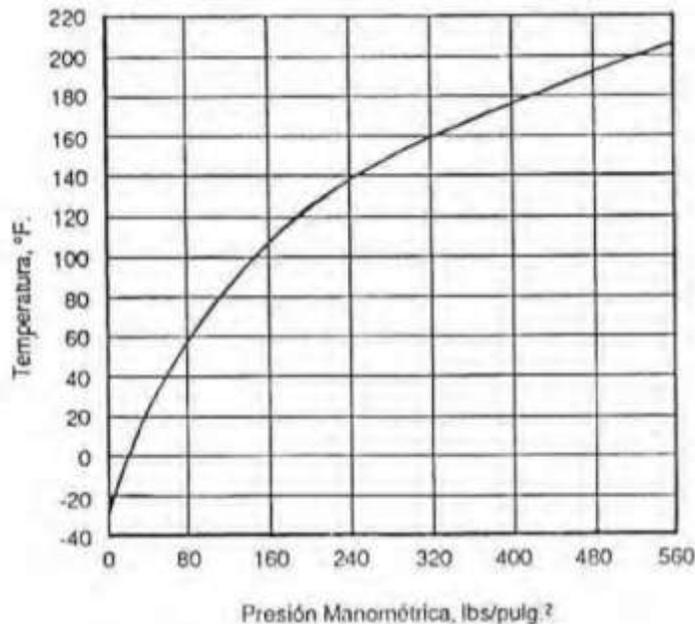


Figura 2 Cloro líquido, curva de temperatura y presión [14]

Las características del cloro y sus derivados pueden variar, el cloro es un gas verde que pesa 2 veces y media más que el aire, el cloro, se produce en forma gaseosa por electrólisis de una solución de cloruro de sodio. Este proceso se realizó por primera vez en Frankfurt – Alemania en el año 1890. El cloro es un elemento químico, su símbolo es Cl, peso atómico 35.357, punto de fusión -101.4 °C, punto de ebullición -34.5 °C, densidad 2.5 aprox. El cloro líquido es de aspecto oleoso, color de ámbar, densidad 1.5 aproximadamente, se le obtiene en ese estado comprimiendo a 1.74 atm. y enfriando a -18°C, el cloro también es aplicada junto a sus derivados en los más conocidos están la cal clorada y el hipoclorito de calcio que se expenden en polvo, el hipoclorito de sodio que se encuentra en solución, el dióxido de cloro y la halazona.



NOMBRE Y FORMULA	NOMBRE COMERCIAL	ACONDICIONAMIENTO	CARACTERÍSTICAS	COLOR DISPONIBLE
Cloruro de aluminio NH_4Cl	Sal de amoniaco	Envases de 45 kg. O barriles de 95 a 250 kg.	Forma de cristales o tabletas blancas, higroscópico, volátil	-
Hipoclorito de calcio. $Ca(ClO)_2 \cdot 4H_2O$	“HTH”, “Perclorón” (importado) Alcablanc	Latas de 1.5 kg. Tambores de 45, 135 y 360 kg. Tambores de 50 kg.	Forma de polvo granular blanco o en tabletas, corrosivo y de fuerte olor, almacenar en seco.	70% de cloro disponible. 30% cloro disponible
Cal clorada CaO . $2CaCl_2O \cdot 3H_2O$	Polvo decolorante Cloruro de cal,	Tambores de 45, 135 y 360 kg.	Polvo blanco higroscópico	25-37% cloro disponible
Clorito de sodio $NaClO_2$	Clorito técnico de sodio	Tambores de 45 kg	Polvo anaranjado. Produce ClO_2 a pH=3	82% de $NaClO_2$ 30% de cloro disponible
Dióxido de cloro ClO_2	Dióxido de cloro	Producido en el lugar donde se va a usar	Gas, muy oxidante	26.3% de cloro disponible
Hipoclorito de sodio $NaClO$	“Lejía”	Envases de plástico o carros tanque	Líquido amarillento	10% de cloro disponible (constatar su concentración antes de usarlo)
$NaOOC-C_5H_4-SO_2NCl$	Halazona	Envases herméticos	Tabletas	-

Tabla 1 Características de los compuestos clorados
[14]

Entre los años 1928 y 1930 Tonney y otros estudiaron la dosis mínima de cloro necesario para matar 503 especies diferentes de bacterias entre las que encontraban la salmonella typhosa, escherichia coli y Aerobacter aerogenes entre otros. [14] En cuanto a los factores que dificultan la cloración parcialmente por una serie de agentes como turbiedad, [16] nematodos, temperatura y contenido de sustancias químicas como el calcio, nitrógeno orgánico y fenoles en el agua. [15]

2.2. MARCO TEÓRICO

El proceso de tratamiento de agua potable se le otorgó el nombre de potabilización, definido: “La potabilización es un proceso que se lleva a cabo sobre cualquier agua para transformarla en agua potable y de esta manera hacerla absolutamente apta para el consumo humano. La potabilización, mayormente, se



realiza sobre aguas originadas en manantiales naturales y en aguas subterráneas”. [1], en el proceso del tratamiento es común encontrarse una serie de fases, cuya finalidad es transformar la materia prima inicial (agua cruda) en un producto final (agua potable), según la normativa colombiana vigente [2].

En los últimos años se ha logrado grandes avances en el desarrollo tecnológico en el campo de la automatización industrial permitiendo aumentar la productividad, está a pasado a ser una herramienta indispensable para competir en el mercado globalizado. [8] siempre que exista la posibilidad de mejorar los procesos se genera confiabilidad en la producción. Como consecuencia, se obtiene mayor calidad en el agua tratada, logrando realizar el monitoreo de las variables intrínsecas directamente en el proceso del tratamiento, entre las más comunes que se encuentran es la presión, caudal y nivel, a partir de ello es necesario el uso de instrumentos de medición generando eficiencia, estos instrumentos son dispositivos que tiene como entrada el valor de una variable y como salida algún medio para indicar al operador el valor medido, para ellos se hace necesario que los elementos están interconectados entre sí, de manera que mantengan una relación funcional con los cambios de variables.[9]

2.2.1. TIPOS DE PLANTAS

Para llevar a cabo el proceso del tratamiento de agua potable, depende de la planta o estación que se esté utilizando, en la industria hay diferentes tipos de plantas, aunque las operaciones de tipo físico, químico y biológico tengan el objetivo de eliminar o reducir la contaminación o características no deseables del agua.

Plantas de tratamiento convencional

- Es un sistema donde el sentido del agua es unidireccional, la planta incluye todo el proceso para la obtención del agua potable, como son la coagulación, mezcla rápida, floculación, sedimentación, filtración, canal de aguas claras, desinfección, de acuerdo a las condiciones del agua, en algunas plantas convencionales se hace necesario el uso de doble filtración por la alta concentración de hierro y manganeso o alto color [3], como consecuencia cada planta se debe diseñar de acuerdo al agua a tratar, la planta de tratamiento de agua potable de EMCOAAAFOR ESP funciona por gravedad. En la *figura 3* se observar la planta de tratamiento de agua potable.



Figura 3 Planta PTAP convencional
[Autor]

Procesos de una PTAP convencional

- **Coagulación:** En esta etapa el agua cruda entra a la planta de tratamiento y pasa por una mezcla rápida en la canaleta Parshall en donde se adiciona el coagulante. Esta adición de químicos se hace de acuerdo a las características presentadas en la planta. [3], En la *figura 4* se observar el sistema de coagulación y mezcla rápida en la canaleta Parshall.

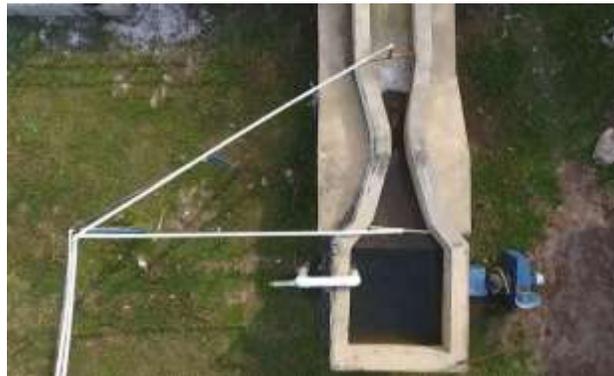


Figura 4 Coagulación y mezcla rápida en canaleta Parshall
[Autor]

- **Floculadores:** Luego de pasar por la etapa de coagulante, ingresa a los floculadores hidráulicos de flujo vertical, conformada por cámaras independientes de 45 l/s cada una, con 3 sectores, de diferentes gradientes de velocidad, con el objetivo de realizar una agitación suave y moderada para



formar los flocúlos pesados para la buena sedimentación. [3] En la *figura 5* se observar el tanque de flocladores.



Figura 5 Tanque de Flocladores
[Autor]

- **Sedimentadores:** La sedimentación es el proceso mediante el cual se promueve el depósito del material en suspensión por acción de la gravedad y que tengan un peso específico mayor que el fluido, los sedimentadores se caracterizan por tener zona de entrada, zona de sedimentación y zona de lodos, remueve los floc's de gran tamaño que se generaron en la unidad de mezcla lenta. [3] En la *figura 6* se observa tanque de sedimentador.

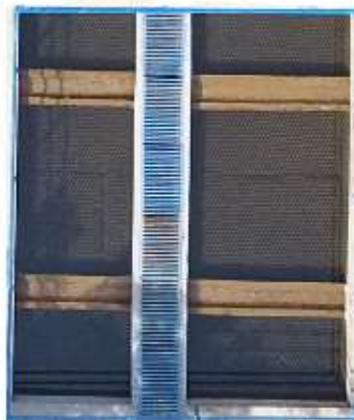


Figura 6 Tanque de sedimentador
[Autor]

- **Filtración:** Esta etapa consiste en hacerla pasar por sustancias porosas que puedan retener o remover algunas de sus impurezas. Por lo general se utilizan como medio poroso la arena soportada por capas de piedras, debajo de las cuales existe un sistema de drenaje, con el fin de remover las impurezas y microorganismos que no fueron eliminados en los procesos anteriores,



mediante filtros de capa triple. [3] En la *figura 7* se observa el tanque de filtración.



Figura 7 Tanques de filtración
[Autor]

- **Desinfección:** Después de que el agua tratada pase por el filtro se adiciona el desinfectante de manera proporcional al caudal tratado. [3] En la *figura 8* se observar el canal de aguas claras.



Figura 8 Canal de aguas claras
[Autor]

- **Contactador de cloro:** Permite generar una mezcla homogénea apropiada del hipoclorito de sodio en el contactador de cloro, haciendo esta un efecto mayor sobre los microorganismos desinfectando el agua tratada. En la *figura 9* se observar el tanque contactador de cloro.

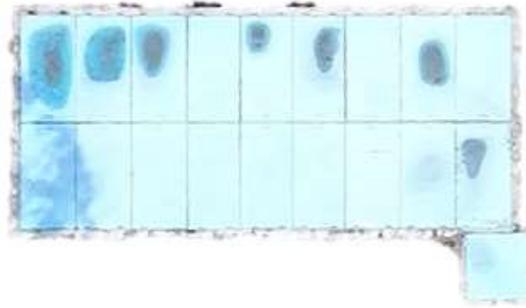


Figura 9 Tanque contactor de cloro
[Autor]

- **Pozo profundo:** CORPORINOQUIA resuelve otorgar el permiso de prospección y exploración de aguas subterráneas a la EMCOAAAFOR ESP, realizando la construcción de un pozo profundo con una longitud de 150 m de profundidad, este pozo funcionara como contingencia, aún no se ha entregado oficialmente. En la *figura 10* se observar la estructura de la entrada al pozo profundo.



Figura 10 Pozo profundo
[Autor]

- **Tanque de almacenamiento:** El tanque almacena el agua tratada producida en la planta de tratamiento, este tanque tiene una capacidad de 1645.945 m³ está dividido en dos secciones separadas por una válvula de compuerta que permite el almacenamiento independiente, el acceso se realizar por medio de escaleras cubiertas por tapas en lámina de alfiler de 1.20x 1.20 m. cuenta con



dos conductos de rebose. En la *figura 11* se observar el tanque de almacenamiento de agua tratada.



Figura 11 Tanque de almacenamiento de agua tratada
[Autor]

Plantas de tratamiento modular

- La planta modular consta de varias etapas que incluyen todos los procesos requeridos para obtener el agua tratada, ocupan poco espacio, además se pueden quitar y agregar módulos como el de filtración, son acudas para aguas subterráneas adquiridas a través de pozo profundo, el cual tienen altos contenidos de hierro, manganeso y color. De acuerdo con las características de del agua a tratar, se incorporan procesos de pre aireación y oxidación, arenas especiales para la eliminación de hierro y manganeso o post tratamiento con carbón activado cuando hay elementos orgánicos. En la *figura 12* se observa la planta potabilizadora modular.

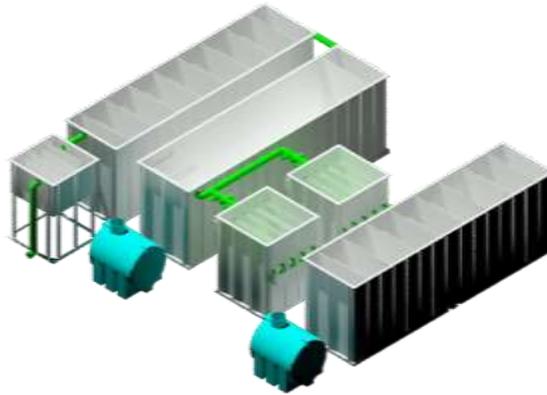


Figura 12 Planta potabilizadora modular
[4]

Plantas de tratamiento compacto industrial

Son aquellas donde los procesos de coagulación, floculación y sedimentación ocurren en una misma unidad para luego pasar a los filtros, su tiempo de residencia son bajos, en la *figura 13* se puede observar este tipo de planta de tratamiento compacta.



Figura 13 Planta de tratamiento compacta
[32]

Actualmente existen tres tipos de PTAP, que se diferencian según el proceso de tratamiento que efectúan:

- PTAP de tecnología convencional: incluye los procesos de coagulación, floculación, decantación (o sedimentación) y filtración.



- PTAP de filtración directa: Incluye los procesos de coagulación y filtración rápida, y se puede incluir el proceso de floculación.
- PTAP de filtración en múltiples etapas (FIME) incluye los procesos de filtración gruesa dinámica, filtración gruesa ascendente y filtración lenta en arena

2.2.2. METODOLOGÍA DE DISEÑO QFD, DESPLIEGUE DE LA FUNCIÓN DE CALIDAD

QFD son las siglas en inglés de Quality Function Deployment (en español Despliegue de la función de calidad) el padre de esta metodología es Yoji Akao, se desarrolló en los astilleros KOBE en Japón en los años 1970. La metodología QFD también se conoce como “La voz del cliente” debido a su filosofía de transmisión de requisitos y también como “La casa de la calidad” debido al aspecto de unas de sus construcciones geográficas. [30]

QFD es un proceso que asegura que los requerimientos y las necesidades de los clientes sean traducidas en características técnicas. Estas características son manejadas por la empresa mediante la función del diseño, o mejor aún, a través de un equipo multifuncional que incluye ventas, marketing, Ingeniería de diseño, Ingeniería de manufactura y operaciones.

La QFD se puede definir como “Un sistema detallado para la transformar las necesidades y expectativas deseos del cliente en requerimientos de diseños de productos o servicios y las traduce, en pasos sucesivos, a características técnicas y operativas satisfactorias. La QFD sirve esencialmente para:

- Identificar las necesidades y expectativas de los clientes, tanto externos como internos.
- Priorizar la satisfacción de estas expectativas en función de su importancia.
- Focalizar todos los recursos, humanos y materiales, en la satisfacción de dichas necesidades.



Esta metodología puede aportar entre otros, beneficios como:

- Reducción del tiempo de desarrollo de nuevos productos y servicios.
- Optimizar el producto o servicio para las expectativas del cliente objetivo.
- Mayor eficiencia y eficacia, se reduce el costo y se optimiza el tiempo.

De esta forma una matriz QFD está constituida por los siguientes elementos

- Los QUE: Representan los requisitos del cliente a continuación en la *figura 14*, se puede observar sobre el lugar señalado en el rectángulo rojo de este elemento.

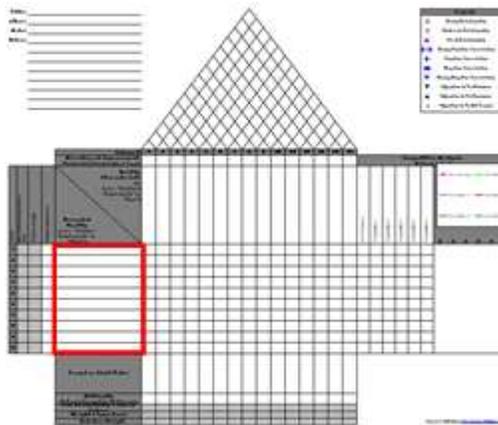


Figura 14 Matriz QFD, Los QUE
[Autor]

- Los COMO: Muestran las posibilidades existentes para satisfacer los requerimientos mencionados, haciendo énfasis en las características técnicas. En la *figura 15*, se puede observar sobre el lugar señalado en el rectángulo rojo de este elemento.

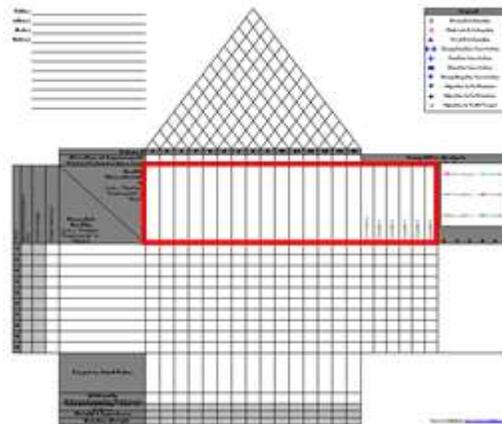


Figura 15 Matriz QFD, Los CÓMO
[Autor]

- La matriz de relaciones: Determina una perspectiva de relación entre los QUÉ y los COMÓ, donde se muestra que tan importante es cada característica técnica para todos los requerimientos, en este paso se trata de valorar la influencia que tiene los distintos Qué, en la obtención de los distintos Cómo para ello se adopta una escala de correlación. En la *figura 16*, se puede observar sobre el lugar señaló en el rectángulo rojo de este elemento.

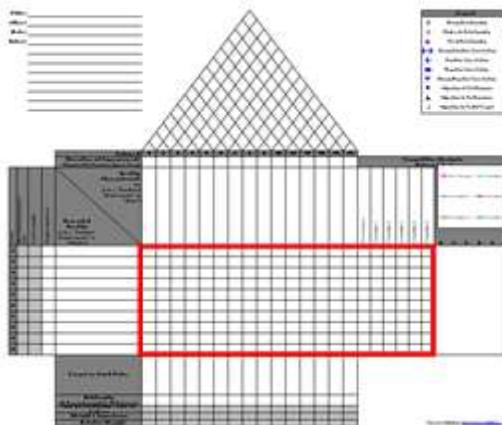


Figura 16 Matriz QFD, la matriz de relaciones
[Autor]

- Evaluación de la competencia de mercado: Permite conocer el estado del producto en proceso de diseño en comparación con productos similares existentes. En la *figura 17* se puede observar sobre el lugar señaló en el rectángulo rojo de este elemento.

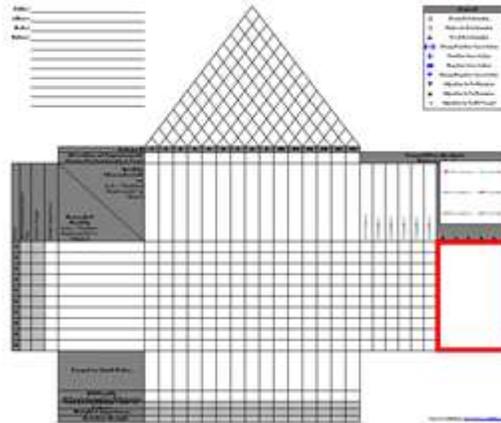


Figura 17 Matriz QFD, Competencia del mercado
[Autor]

- La matriz de correlaciones: Relaciona la influencia positiva o negativa existente entre las características técnicas denominadas COMO En la *figura 18*, se puede observar sobre el lugar señalado en el triángulo rojo de este elemento.

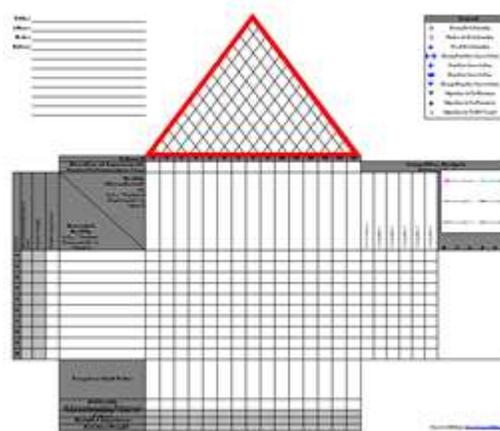


Figura 18 Matriz QFD, Las correlaciones
[Autor]

Teniendo en cuenta estas partes esencialmente de una matriz QFD, en el desarrollo del diseño del dispositivo planteado, se realizarán las 4 matrices, cada una representa una fase de la metodología QFD:

- Servicio: Donde se definen las características que debe tener el proyecto de acuerdo a las expectativas del consumidor. Estas



características se determinan mediante el análisis de unas encuestas dirigidas hacia profesionales en el proceso de potabilización del agua.

- Componentes: En esta fase se establece el requerimiento técnico de cada agente integrante del proyecto.
- Procesos: El objetivo es la definición del proceso de la producción del agua a través de los componentes.
- Producción: Se relacionan las especificaciones del proceso con las características de producción para obtener las especificaciones de producción más apropiadas.

De esta forma en la *figura 19*, se dará a entender la conexión que existe entre los ¿Qué? y los ¿Cómo?, ya que de una matriz a otra se van convirtiendo, el ¿Cómo? De la primera matriz se convierte en el ¿Qué? De la siguiente matriz, de esta forma pasa por las cuatro fases de la metodología e QFD. La matriz N°1 (Matriz QFD de servicio) se observan de color amarillo el espacio de requerimiento del ¿Qué? y en color verde el ¿Cómo?, este ¿Cómo? Se convertirá en el requerimiento del ¿Qué? de la matriz N°2 (Matriz QFD de componentes) se observan de color verde el espacio de requerimiento del ¿Qué? y en color azul el ¿Cómo?, este ¿Cómo? Se convertirá en el requerimiento del ¿Qué? de la matriz N°3 (Matriz QFD de procesos) se observan de color azul el espacio de requerimiento del ¿Qué? y en color rojo el ¿Cómo?, este ¿Cómo? Se convertirá en el requerimiento del ¿Qué? de la matriz N°4 (Matriz QFD de producción) se observan de color rojo el espacio de requerimiento del ¿Qué? y finalmente las respuestas a estas necesidades se reflejan de color púrpura. [30]

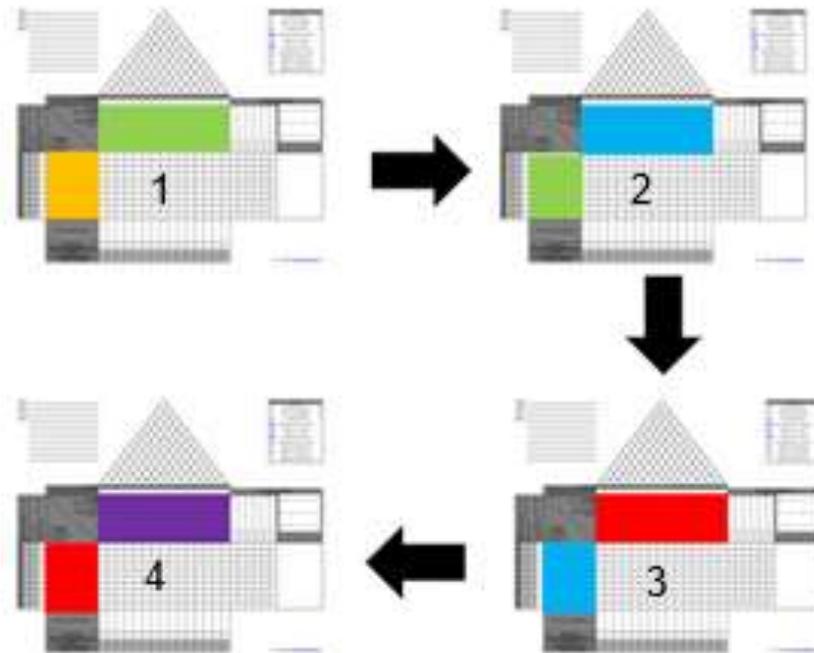


Figura 19 Secuencia de la matriz
[30]

2.2.3. SISTEMAS AUTOMATIZADOS

Un sistema automatizado está compuesto por un conjunto de elementos que están relacionados entre sí formando jerárquicamente estructuras que garantizan el trabajo de cada proceso independiente a través del control en las operaciones y supervisión, este se lleva a cabo por medio de técnicas establecidas de acuerdo al tipo de planta. [7], Un sistema automatizado es distinguido cuando presenta esquemas de comunicación que garanticen intercambio de datos de una forma confiable, en lo que compone al sistema, y la constante adaptación en futuras aplicaciones, generando así una automatización flexible, la medición y control de las variables de cada proceso en tiempo real, [7] pudiendo así obtener bases de datos confiables, la automatización deberá abarcar el control, monitoreo, simulación y parametrización, diagnóstico y ayuda a determinación de la administración y mantenibilidad de la infraestructura.

A partir de ello se puede percibir la necesidad de los sistemas automáticos presente en procesos tecnológicos o plantas, teniendo en cuenta el acondicionamiento de señales, interfaces de cómputo, métodos matemáticos que conlleven a algoritmos confiables a través del software. La automatización tiene



como objetivo incrementar la competitividad, por lo tanto, surge la necesidad del uso de tecnología para poder llevar a cabo la implementación en los procesos a su fin, como resultado, se requiere que las personas de la empresa tengan conocimiento sobre la diferente tecnología de la automatización. [6] en el transcurso del tiempo de la *figura 20* inicia la evolución de sistemas automatizados.

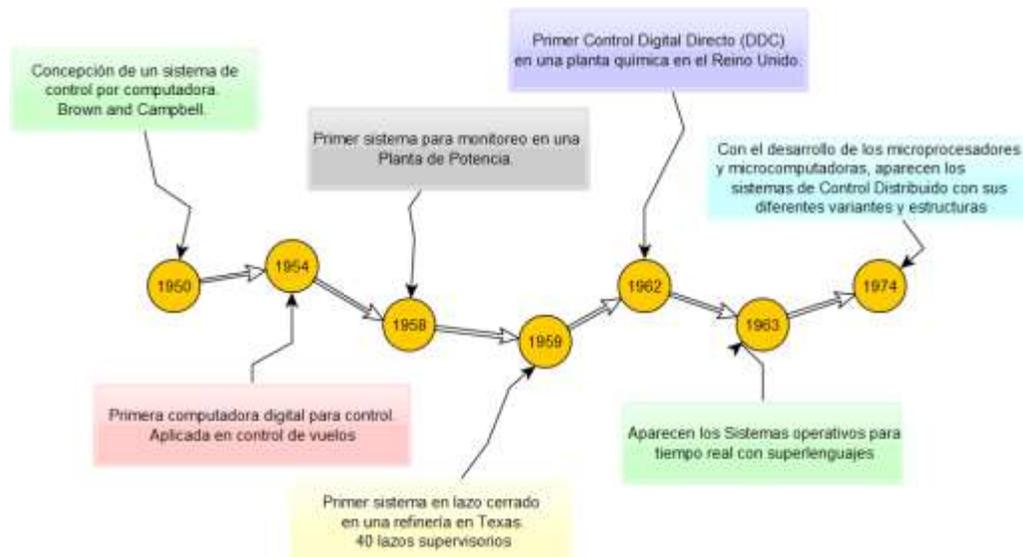


Figura 20 Evolución de los sistemas de automatización y control por computadora [Autor] [29]

Las bases de datos generadas en la empresa serán usadas para representar y realizar las funciones de control, mantenimiento, análisis de fallas, hoja de vida de cada instrumento y equipo.

En la actualidad el uso del híbrido de diferentes tecnologías informáticas ha permitido aumentar la velocidad de cálculos, disponiendo de mayor espacio en memoria para el almacenamiento de datos y su procesamiento. En la figura 21 observamos la fusión de equipos e instrumentos dados bajo normas estandarizadas tanto en la fabricación e implementación que nos ha permitido la evolución en los procesos.

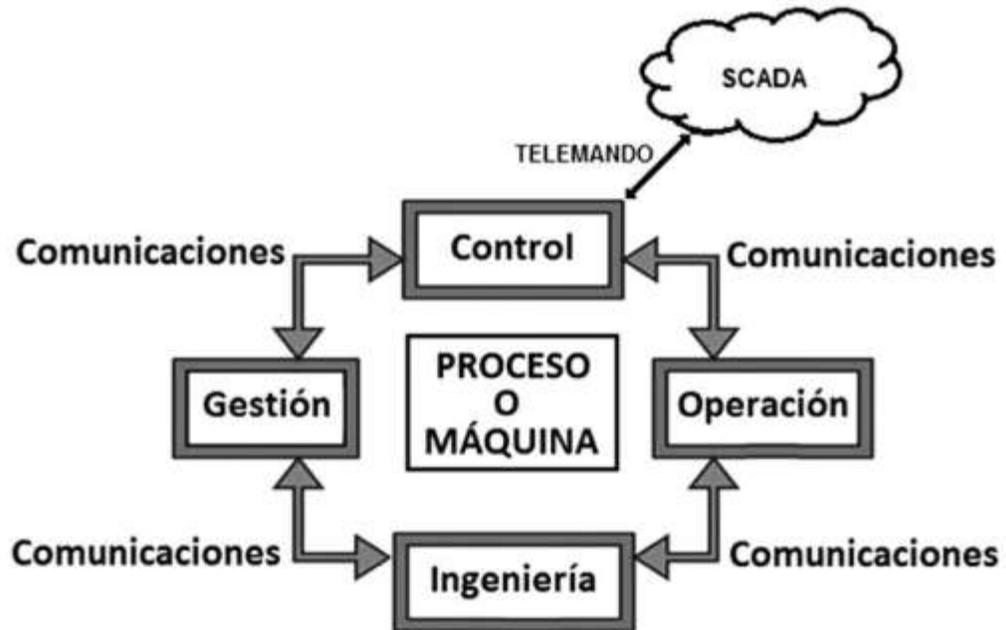


Figura 21 Componentes de un sistema de automatización industrial [7]

El amplio uso de la automatización en los diferentes procesos en la industria se determinan normas, parámetros, guías, protocolos, etc. que nos permiten organizar el hardware y el software de forma estándar.

Por lo tanto, los sistemas automatizados modernos contienen características que las hacen destacar a través de los esquemas de comunicación que garantizan el intercambio confiable de datos, tanto vertical como horizontal del sistema, la adaptación a la automatización flexible, control descentralizado bajo parámetros de un sistema centralizado.

Para llevar a cabo un sistema automatizado es necesario tener presente diferentes partes que lo componen.

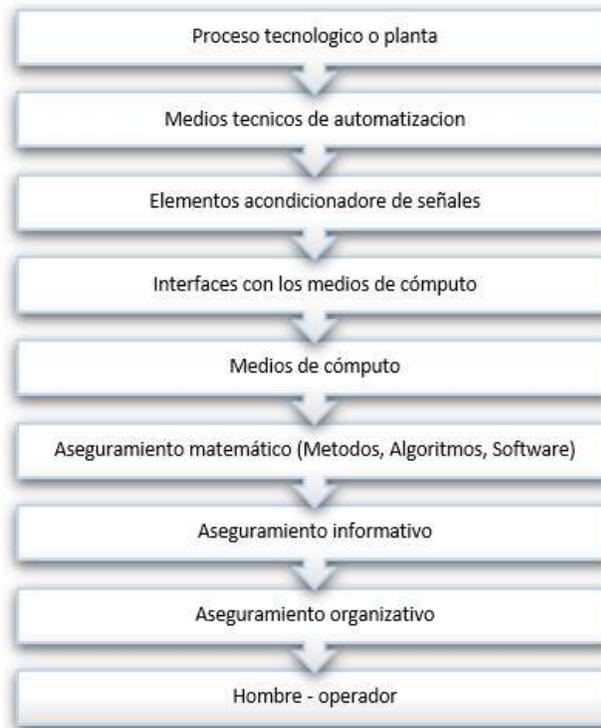


Figura 22 Diferentes partes de un sistema automatizado
[Autor] [29]

Es importante involucrar al hombre por la importancia que tiene dentro del sistema, es quien debe tomar decisiones correctas son solo para el normal funcionamiento sino en caso de presentarse fallas o anomalías.[29] Un gran avance que introdujo la aplicación de las microcomputadoras en la automatización de sistemas fue la forma de controlar y supervisar de forma descentraliza, logrando incorporar una sola unidad para adquisición y procesamiento de la información, control y actuación sobre la planta.

Conseguir integrar señales de corriente de 4 – 20 mA a través de buses de campo reduce el costo y volumen de cableado ya que se hacen imprescindible la medición de variables en el proceso. En la *figura 23* observamos un esquema típico de un sistema de control distribuido.

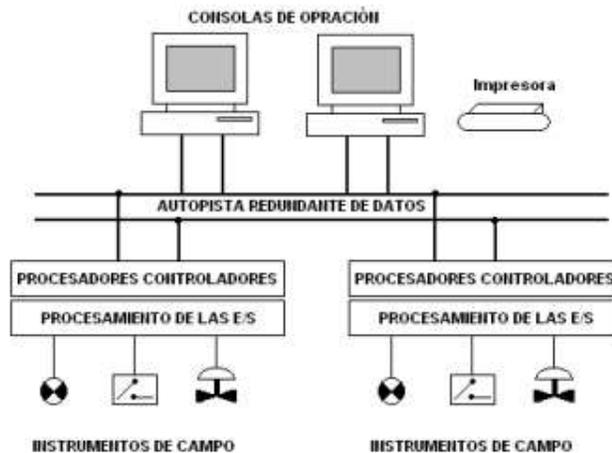


Figura 23 Esquema típico de un sistema de control distribuido [7]

Existen diferentes medios técnicos, estructuras, redes, protocolos, para la automatización industrial, las redes se dividen en dos, redes industriales y redes comerciales, la primera para el nivel inferior de la pirámide de automatización. Los aspectos a considerar en una selección de medios, estructuras, software entre otros son los siguientes.

- Fiabilidad
- Tiempo de diseño, proyección y puesta a punto
- Mantenimiento
- Cultura tecnológica
- Costo
- Flexibilidad, expansión.

En la *figura 24* se observan los niveles jerárquicos y sus funciones en un sistema automatizado, comprendidos por 5 niveles distribuidos.



Figura 24 Niveles jerárquicos y sus funciones en un sistema automatizado [31]

Estos niveles jerárquicos van de acuerdo la pirámide de manufactura integrada por computadora (CIM) o de automatización en una fábrica o industria que se relaciona con el sistema de modelo de interconexión de sistemas abiertos (OSI), ya que se puede separar por segmentos los cuales realizan distintas operaciones y necesitan requerimientos distintos para operar, el orden es de forma ascendente.

Nivel 1 - Nivel de campo

En este nivel se encuentran los instrumentos primarios y secundarios como sensores, transductores, válvulas, actuadores, elementos finales de control, según la jerarquía de la *figura 24*, esto se suelen ver en el campo o en la planta de producción, haciendo que el trabajo físico y el monitoreo sea constante y se realice en menores intervalos de tiempo.

Nivel 2 – Nivel de control

Este nivel está comprendido por los programadores lógicos programables y el control simultaneo por realimentación, el algoritmo de control PID consta de tres parámetros distintos, el proporcional, el integral y el derivativo, toman información de todos los sensores, interruptores y otros dispositivos de entrada para posteriormente tomar decisiones sobre qué salidas activar para completar la tarea programada, el PID normalmente está integrado en el PLC y significa proporcional, integral y derivativo y permite mantener la variable dentro de un rango establecido de acuerdo al conjunto de parámetros del proceso. En la *Figura 25* se observa un lazo de control retroalimentado.

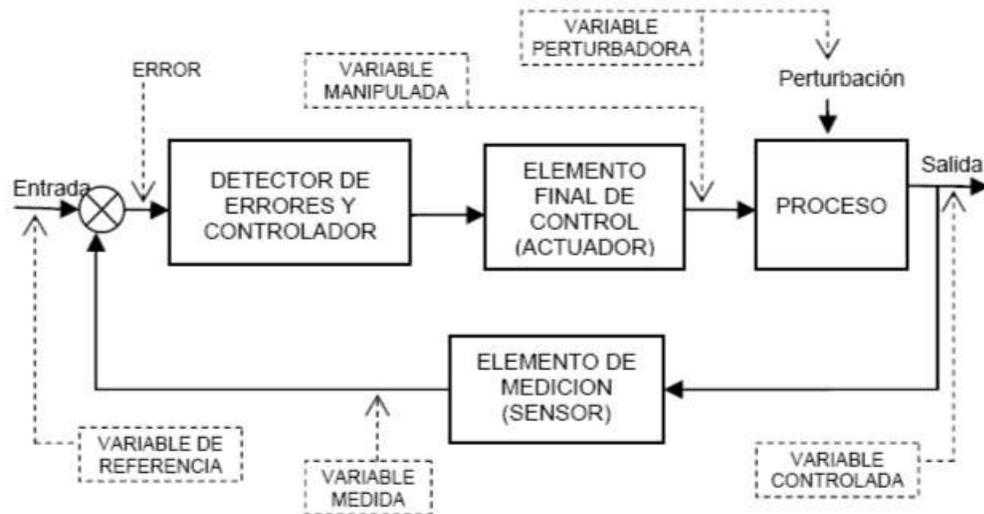


Figura 25 Representación de las variables dentro de un lazo de control [29]

Nivel 3 – Nivel de supervisión

Este nivel corresponde al sistema de supervisión control y adquisición de datos o SCADA, es esencialmente la combinación de los niveles anteriores y se suele utilizar para acceder a datos y sistemas controlando múltiples sistemas desde una sola ubicación y proporciona una interfaz gráfica con la que el usuario puede interactuar y controlar funciones en forma retoma a través del HMI.

Nivel 4 – Nivel de planificación

Este nivel utiliza un sistema de administración de computadoras conocido como sistema de ejecución de fabricación o MES, este supervisa todo el proceso de fabricación en una planta o fábrica desde las materias primas hasta el producto terminado, esto permite a la empresa ver con mayor exactitud lo que está sucediendo y les permite tomar decisiones basadas en esa información, se pueden ajustar los pedidos de materias primas o insumos o lo planes de envió basado en datos reales recibidos de los niveles anteriores.

Nivel 5 – Nivel de gestión

Este nivel maneja el sistema de gestión integrado de las empresas, eso se conoce como ERP o planificación de recursos empresariales, es la forma como la alta dirección puede ver y controlar sus operaciones, suele ser un conjunto de



aplicación informática diferentes, utiliza los niveles anteriores además de más software para lograr este nivel de integración permitiendo monitorear todos los niveles de la empresa, desde la fabricación, compras y ventas, además de la parte financiera y nómina entre otros, esto promueve la eficiencia y la transparencia dentro de la empresa.

Sistemas de control supervisión y adquisición de datos

Los sistemas de supervisión y adquisición de datos (SCADA) en inglés Supervisory Control And Data Acquisition, es un software que están implicados en la producción, estableciendo comunicación con dispositivo de campo del nivel 1 y control del nivel 2 de la pirámide de automatización ejerciendo control desde la pantalla del ordenador.

El SCADA registra datos del proceso industrial a distancia, de esta forma la información puede ser analizada desde el nivel de empresa, abarcando temas importantes como el control de calidad, supervisión, mantenimiento. Además de gestionar alarmas y de capturar datos, los sistemas SCADA permiten integrar planes de mantenimiento y eficaces procedimientos de actuación para los operadores, el seguimiento de la variable es conciso y preciso, la información es generada en archivos planos a través de una memoria externa, en forma general permite al cliente conocer en todo momento el estado de las estaciones remotas adquiriendo la información de los diferentes sensores. Cuando el sistema identifica una situación especial o de alerta estos equipos realizan la actuación adecuada y advierten del mismo a la sala de control desde donde el operario se coloca al tanto de la situación dando una solución a la falla o alerta. El sistema SCADA tiene como característica fundamental el empleo de varios protocolos para establecer comunicación, Tiene la capacidad de comunicarse sobre diversos medios físicos, ya sea por líneas telefónicas, sistemas de microondas, transmisión por radio UHF/VHF, cables, fibra óptica y en casos complejos por sistemas de satélite. [29]

Los esquemas típicos y componentes SCADA son los siguientes:

- Instrumentación de campo
- Estaciones terminales remotas
- Red de comunicación
- Estación central de monitoreo

Las estaciones o unidades remotas (RTU) reciben las señales directamente de los



sensores de campo y a su vez ejercen control sobre los actuadores y demás elementos finales de control. En la interconexión disponen un canal de comunicación en serie por cable o radiofrecuencia. Estos equipos son programables y soportan algoritmos de control, el PLC puede integrarse dentro de una RTU y formar parte de la estrategia de control que se desee implementar en el lugar. Un protocolo de comunicación utilizado por los fabricantes es el MODBUS. En la *figura 26* se observa un sistema de SCADA típico.

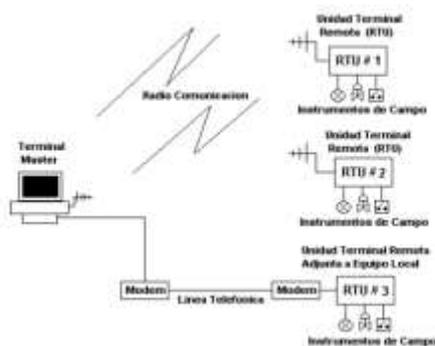


Figura 26 Sistema SCADA típico
 [7]

2.2.4. NORMATIVIDAD, ESTÁNDARES EN LA INDUSTRIA

En la industria se encuentra diversidad de normas, estándares que so clasificados de acuerdo a la aplicación como se verá a continuación.

2.2.4.1. Redes inalámbricas en entornos industriales

PARTE	DESCRIPCIÓN
ISO/IEC 18000-1	Generalidades del interfaz aire
ISO/IEC 18000-1	Generalidades del interfaz aire
ISO/IEC 18000-2	Interfaz aire para 135 KHz
ISO/IEC 18000-3	Ídem 13.56 MHz
ISO/IEC 18000-4	Ídem 2.5 GHz
ISO/IEC 18000-5	Ídem 5.8 GHz
ISO/IEC 18000-6	Ídem 860 MHz a 930 MHz
ISO/IEC 18000-7	Ídem 433.92 MHz
ISO 10536, 14443, 15693	Tarjetas inteligentes



IEEE 802.15-1	Bluetooth
IEEE 802.15-4	ZigBee
IEEE 802.11	WIFI
RFID	-

Tabla 2 Normatividad de redes inalámbricas en entornos industriales
[Autor]

2.2.4.2. Instrumentación industrial

PARTE	DESCRIPCIÓN
ISA S5.1	Instrumentación de medición y control
ISA S5.2	Símbolos de Operaciones binarias de procesos
ISA S5.3	Símbolos de sistemas de Microprocesadores con control compartido

Tabla 3 Normatividad de instrumentación industrial
[Autor]

2.2.4.3. Eléctrica

PARTE	DESCRIPCIÓN
UNE-EN 60617-2	Elementos de símbolos, símbolos distintivos y otros símbolos de aplicación general
UNE-EN 60617-3	Conductores y dispositivos de conexión
UNE-EN 60617-4	Componentes pasivos básicos
UNE-EN 60617-5	Semiconductores y tubos electrónicos
UNE-EN 60617-6	Producción, transformación y conversión de la energía eléctrica
UNE-EN 60617-7	Aparamenta y dispositivos de control y protección UNE-EN
UNE-EN 60617-8	Instrumentos de medida, lámparas y dispositivos de señalización
UNE-EN 60617-9	Telecomunicaciones: Conmutación y equipos periféricos
UNE-EN 60617-10	Telecomunicaciones
UNE-EN 60617-11	Esquemas y planos de instalación, arquitectónicos y topográficos
UNE-EN 60617-12	Operadores lógicos binarios



UNE-EN 60617-13	Operadores analógicos
UNE-EN 60439-1	Conjuntos de aparamenta de baja tensión
UNE-EN 60073	Principios básicos y de seguridad para interfaces hombre-máquina, el marcado y la identificación.
UNE-EN 60204-1	Seguridad en las máquinas. Equipo eléctrico en las máquinas. Parte 1: Requisitos generales.
EN 50081	Compatibilidad electromagnética. Normas genéricas de emisión.
EN 50082-2	Compatibilidad electromagnética. Normas genéricas de inmunidad. Parte 2: Entorno industrial.
CEI 60447	Interfaz hombre máquina: Principios de maniobra
NTC 2050 de 1998	Código eléctrico colombiano
RETIE	Reglamento técnico de instalaciones eléctricas

Tabla 4 Normatividad eléctrica
 [Autor]

2.2.4.4. Comunicaciones industriales

NOMBRE COMERCIAL	IEC STANDARDS	GENELEC STANDARDS
P-NET	IS 61158 Tipo 4	EN 50170 – 1 (1996)
PROFIBUS	IS 61158 tipo 3	EN 50170 – 2 (1996)
WorldFIP	IS 61158 tipo 7	EN 50170 – 3 (1996)
Foundation Fieldbus	IS 61158 tipo 5	EN 50170 – A1 (2000)
PROFIBUS – PA	IS 61158 tipo 3	EN 50170 – A2 (2000)
Control Net	IS 61158 tipo 2	EN 50170 – A3 (2000)
INTERBUS – DP	IS 61158 tipo 8	EN 50254-2 (1998)
WorldFIP (FIPIO)	IS 61158 tipo 7	EN 50254-3 (1998)
Devicenet	IS 62026 – 3 (2000)	EN 50325-2 (1998)
SDS	IS 62026 – 5 (2000)	EN 50325-5 (1998)
CAN Open	IS 62026 – 4 (2000)	EN 50325-4 (1998)
AS-Interface	IS 62026 – 2 (2000)	EN 50295-2 (1998)

Tabla 5 Normatividad comunicaciones industriales
 [Autor]



3. DIAGNÓSTICO Y CARACTERÍSTICAS

De acuerdo al diagnóstico realizado a EMCOAAAFOR ESP, la cual ha sido una empresa que nos ha suministrado información de la cual hemos podido indagar en los procesos de la potabilización, instrumentos, planos, manuales del proceso, características de la tubería, elementos primarios, finales de control, actuadores, insumos, e información general como el plan maestro realizado por la empresa departamental de servicios públicos CUMARE S:A, (tiempo que lleva cumare haciendo el acompañamiento de la empresa y el acuerdo). Quien es el encargado de elaborar y concertar con el departamento y los municipios en plan del sector de agua potable y saneamiento básico a desarrollarse en cada municipio Saravena, Fortul, Tame, Arauquita, Puerto Rondón, Cravo Norte, Arauca.

3.1. GENERALIDADES

El departamento de Arauca es uno de los 32 departamentos de Colombia, localizado en el extremo norte de la región de la Orinoquia del país. El departamento de Arauca está situado en el extremo norte de la región de la Orinoquia Colombiana, localizado entre los $06^{\circ} 02' 40''$ y los $07^{\circ} 06' 13''$ de la latitud norte y los $69^{\circ} 25' 54''$ y los $72^{\circ} 22' 23''$ de la longitud oeste. Su territorio cuenta con una superficie de $23,818 \text{ km}^2$, lo que representa el 2.1% del territorio nacional. Limita por el norte con el río Arauca, que lo separa de la República Bolivariana de Venezuela; por el este limita con la República Bolivariana de Venezuela, por el sur con los ríos Meta y Casanare, que lo separan del departamento del Vichada, y Casanare; y por el oeste con el departamento de Boyacá. Su capital es el municipio de Arauca. En la *figura 24* se puede observar la ubicación del departamento de Arauca.



Figura 27 Ubicación del departamento de Arauca en Colombia [2]



El municipio de Fortul se encuentra ubicado en el piedemonte araucano, en el costado occidental del departamento. Limita al norte con el municipio de Saravena, al sur con el municipio de Tame, al oriente con el municipio de Arauquita y al occidente con el municipio de Guican en el departamento de Boyacá. Tiene una extensión total de 1,125 km², lo que equivale a 112500 ha. Dicha área que representa el 4.7% del área total del departamento de Arauca. En la *figura 27* se puede observar la ubicación del municipio de Fortul.

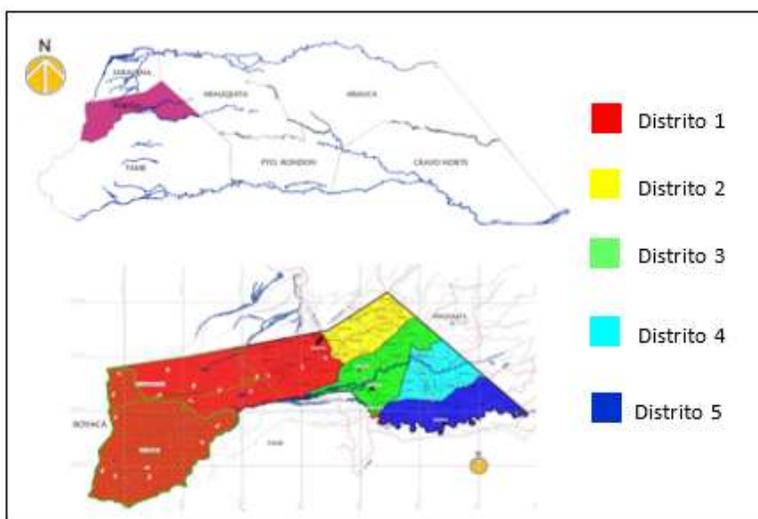


Figura 28 Ubicación municipio de Fortul en Arauca
[2][Autor]

El municipio de Fortul está conformado por 6 distritos: 5 rurales y 1 urbano. Los cinco distritos rurales lo conforman 54 veredas y el urbano lo conforman 14 barrios, además de 5 asentamientos. En la *tabla 5* se observa la distribución de las veredas por distrito.

DISTRITO	VEREDAS
1	Alto Banadía, Alto Quirinal, Buenos Aires, El Nevado, El Progreso, El Refugio, La Colorada, Pie de Cerro, Resguardo Comunidad Indígena Cibariza, San José Obrero, San Pedro, Tierra Seca.
2	Bajo Quirinal, Caño Negro, El Salibón, La Cabaña, La Salve, La Unión, Los Bancos, Los Lirios, Palo de Agua, Santuario Quiripal, Vereda Las Guaduas, Villa Nueva, Villa Rica.



3	Alto Bello, Alto Jordán, Bruselas, El Paraíso, El Tigre, Islas del Cusay, La Esperanza, Las Orquídeas, Los Andes, Los Jardines, Nuevo Carnal, Palmarito.
4	Altamira, Birmania, Caño Flores, El Milagro, Los Caracoles, Providencia, Puerto Gloria, San Francisco, Sitio Nuevo.
5	El Salem, Gualanday, La Primavera, Matecaña, Muriba, Nuevo Horizonte, Pavitas, Puerto Nidia, Resguardo Comunidad Indígena Chiguire.

Tabla 6 Veredas por distrito del municipio de Fortul
[Autor]

La cabecera municipal consta de un área actual de 111 km² y se encuentra ubicada a 132 km del municipio de Arauca, la empresa está ubicada en la dirección, Calle 6 N 27-52 Br. 12 de octubre. En la *figura 29* se observa la ubicación del casco urbano del municipio de Fortul.



Figura 29 Casco urbano del municipio de Fortul 2020 y asentamientos
[2]

3.2. RESEÑA HISTÓRICA

En Fortul se genera la necesidad de crear un acueducto en el año 1980, en el consistió en llevar agua a las viviendas del caserío que hoy en día es el Municipio de Fortul que fue creado mediante decreto 2926 del 15 de diciembre de 1989 y las diferentes veredas que se empezaron a conformar, en sus inicios el agua era transportada en animales de carga (Asnos, caballos, yeguas), por medio de envases plásticos PET (pimpinas), tomando de caño Salibon, caño Rojo y el río



Cusay. En los años 1980 y 1982 existían de 40 a 50 viviendas en lo urbano, y unos 30 predios en la zona rural, por falta de suministro en las épocas de verano, Las comunidades deciden organizar entre los sectores de Tierra Seca, el Nevado y la población de la zona urbana, en este mismo periodo ya creada un comité pro - acueducto y por la gestión y liderazgo de los colonizadores, Arturo Bautista, Pablo Capacho, Gilberto Pedraza, Sandalio Álvarez, Gerardo Gutiérrez y el reverendo León Pastor Sanabria (Q.E.P.D) entre otras, se gestionaron recursos y se realizó la construcción de una Bocatoma sobre el rio Cusay junto a un tanque desarenador acoplándose a una red de 6” y un tanque pequeño de almacenamiento, por medio del Instituto Nacional de Salud (INAS) quien era promotora de la junta de acción comunal el señor Hernando Calvo Medina e intendente el coronel Luis Eduardo Barragán, en 1982 se conformó la primera junta administrativa pro – acueducto, haciéndose participe el señor Maximino Durán (presidente y secretario), Gerardo Gutiérrez (tesorero), Saúl Amador (primer fontanero), luego en 1987 se hace la elección de la segunda junta administrativa estaba conformada por Isidro Antonio Beltrán (Presidente), Farid Ardulfo Caicedo (Tesorero), Valentín Basto (Fiscal), José Fernando Gómez (Fontanera), Hernando Bautista (Fontanero), esta administración gestionó con la intendencia quien donó una volqueta a la junta de acción comunal en la que se transportaba el material necesario para llevar a cabo la construcción del primer tanque de almacenamiento aguas debajo de la planta de tratamiento de agua, En el periodo de 1994 la señora Presidente gestionó la legalización de la Empresa obteniendo por parte de la Alcaldía la Personería Jurídica No. 003 el 3 de mayo de 1.995, unos años después se convoca a una Asamblea General de Presidentes y delegados para elección de Junta Administrativa, periodo (2009-2011), Juan Evangelista Rocha (presidente), Ceferino León Camacho (vicepresidente), Carlos Alberto Acosta Ramírez (tesorero), Yobany Camargo Meneses (secretario), Amparo Galviz (Vocal 1), Arturo De Jesús Sosa (Vocal 2), Roque Rinconada (Vocal 3). Eduardo Pardo Torres (control Interno), Esp. Betsabé Moreno Peñaloza (revisor fiscal), el sistema de alcantarillado sanitario del municipio de Fortul estuvo a cargo de la alcaldía municipal hasta el año 2010. El 1 de octubre de 2010, se formó el consorcio, ECAAAS-EMCOAAAFOR ESP, de esta forma se inician la prestación del servicio de acueducto, alcantarillado y aseo, El 27 de diciembre de 2011 hay elección de nueva Junta Administradora para el periodo 2012-2015 quedando la misma Junta. En la *figura 30* se observa las instalaciones de la empresa.



Figura 30 Instalaciones EMCOAAAFOR ESP
[Autor]

El servicio de agua potable se suministra únicamente al casco urbano abasteciendo una población de 1997 usuarios del sistema de acueducto (diciembre de 2014); en el área rural cuenta con el servicio de agua no tratada la cual se suministró a 11 veredas del municipio, en temas de aseo, la empresa presta el servicio al 98.4% de la población del área urbana y centros poblados de Caranal y Palmarito del municipio a través del vehículo recolector. Los actuales operarios de planta José Peñaloza, Jhon Rincón (2011-2020), Víctor Carvajalino, Paolo Álvarez Beltrán y su junta administrativa (2016-2024), se conforma por Juan Evangelista Rocha (Representante legal), Bekly Barekny Barrera Beltrán (tesorera), Esp. Betsabé Moreno Peñaloza (revisor fiscal), Jair Domínguez (Control interno). En la *figura 31* se observa homenaje a los colonizadores de Fortul.



Figura 31 Homenaje a los colonizadores
[Autor]



3.3. ACUEDUCTO

Mediante la resolución N° 700.41.11-032 del 11 de marzo del 2011 se otorga una concesión de aguas superficiales a EMCOAAAFOR, para un caudal de 40 L/s, los cuales se captará del río Banadía. Por término de cinco años que posteriormente fue prolongado. El 06 marzo de 2015 a EMCOAAAFOR E.S.P. se le otorgó un permiso de prospección y exploración de aguas subterráneas, para la construcción de un pozo de captación de agua subterránea a una profundidad de 150 metros, dicho pozo aún no se ha entregado a la empresa por lo tanto no se encuentra en operación.

3.3.1. FUENTE DE ABASTECIMIENTO

La cuenca del río Banadías se encuentra localizada al noroccidente del departamento de Arauca, dentro de las coordenadas planas Oeste X 893.663,29 Y 1.234.575,77. Este X=929.651,08, Y=1.269.229,78. Norte X = 925.127,43, Y = 1.273.162,25, Sur = X 903.264,22, Y = 1.230.229,78. Cubriendo parte del territorio de los municipios de Saravena y Fortul. La extensión total del área de la cuenca es de 84.755 Ha aproximadamente y se conforman por 66.793 Ha que pertenecen al municipio de Saravena y 17.961 Ha al municipio de Fortul, con un perímetro aproximado de 146,5 kilómetros. La cuenca del río Banadías tiene su nacimiento en las estribaciones de la Sierra Nevada del Cocuy y piedemonte llanero de la zona de Arauca a una altura aproximada de 2.000 m.s.n.m. durante su recorrido recibe las aguas de los ríos Calafita, San Miguel, Satocá y del brazo del río Viejo o Madre Vieja, En la *figura 32* se observa el río Banadías en el lugar de captación.





Figura 32 Rio Banadías, lugar de captación
[Autor]

El río Banadías en general presenta un cauce estable, al salir de la cordillera continua un cauce único que bordea la parte norte del abanico torrencial. La cuenca tiene zonas definidas para la conservación ambiental, la ronda de río presenta poblaciones de vegetación lo cual previene la erosión y aumento de sedimentos. Uno de los principales tributarios al río Arauca es la Cuenca del río Banadías, el cual nace en jurisdicción municipal de Fortul, dentro del resguardo indígena Cibariza – Cerro Alto, a una altura aproximada de 2000 m.s.n.m.

3.3.2. BOCATOMA

La bocatoma se encuentra localizada a 14.35 km del municipio, en la vereda el refugio, dentro de un resguardo indígena siguiente figura se visualizan las vías de acceso a la estructura. La vía más cercana con paso vehicular estable se encuentra a 0.84 km y después de finalizada la vía se accede por medio de una trocha. En la *figura 33* se observa el acceso al sistema de captación.

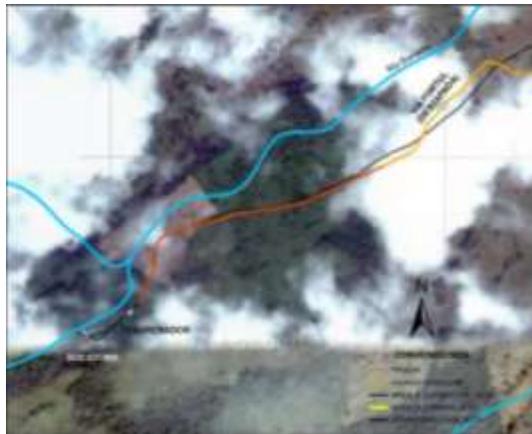


Figura 33 Acceso al sistema de captación
[2]

La bocatoma se encuentra rodeada de una variedad de fauna y flora a pesar de ello, las actividades dentro del proceso se llevan con total normalidad, en la *figura 34* se observa el panorama sobre la bocatoma.



Figura 34 Localización sistema de captación municipio de Fortul
[Autor]

El sistema de captación del municipio de Fortul se realiza mediante una bocatoma de fondo en concreto, se encuentra localizada perpendicularmente a la dirección del flujo del agua del río Banadías, Actualmente la bocatoma se encuentra en una restructuración por el mal estado del sistema de captación ocasionado por grandes sedimentos y la fricción generada, en la *figura 35* se observa la construcción de la nueva bocatoma.



Figura 35 Bocatoma municipio de Fortul
[Autor]

Según el capítulo B 4.3.6 del RAS -2010 el lugar utilizado para la captación del agua debe estar lo suficientemente alejado de toda fuente de contaminación. Sin embargo, para este caso la bocatoma se encuentra localizadas aguas abajo de



regiones habitadas por lo que existe posibles riesgos de contaminación. La red de aducción 1 va desde la Bocatoma hasta la cámara de quietamiento 1 con una longitud 22.8 m, la segunda parte de la red de aducción uno va desde la cámara de quietamiento 1 hasta la cámara de quietamiento 2 con una longitud total de 38.82m, la tercera red va desde la cámara de quietamiento 2 hasta la cámara de quietamiento 3 con una longitud total de 59.82m, todas las redes son de PVC de 16" y RDE. La bocatoma tiene una capacidad de captación de 120 L/s. En la *figura 36* se observa la red de aducción de la bocatoma hasta el desarenador.

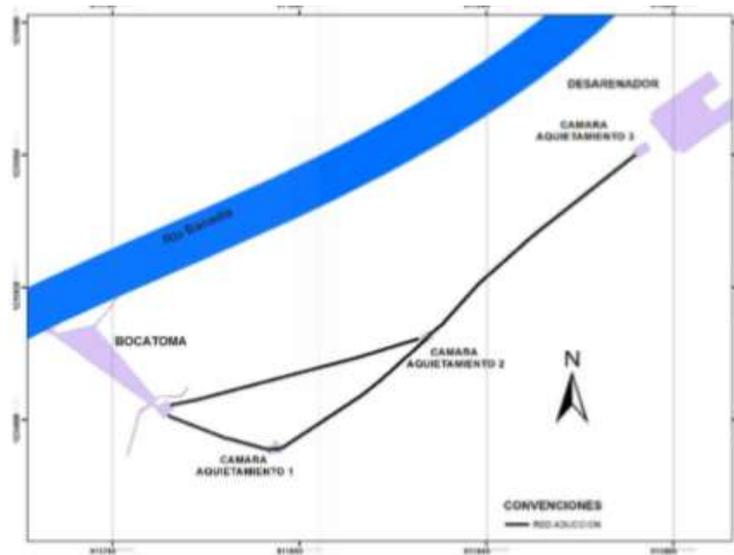


Figura 36 Red de aducción desde la bocatoma hasta el desarenador [2]

3.3.2.1. CAUDALES MEDIOS

Con base en el estudio hidrológico se determina que el área de la cuenca en el sitio de la captación es de aproximadamente 36.49 km² y los caudales medios mensuales del río Banadías en el lugar de la captación son:

MES	CAUDAL
Enero	495.6
Febrero	358.1
Marzo	1102.7
Abril	1102.7
Mayo	1671.2



Junio	1897.3
Julio	1658.2
Agosto	1527.7
Septiembre	1472.4
Octubre	1524.1
Noviembre	1044.9
Diciembre	573.5
Anual	1147.08

Tabla 7 Caudales medios río Banadías m³
[2]

Los caudales medios de la cuenca del río Banadías se muestran a continuación.

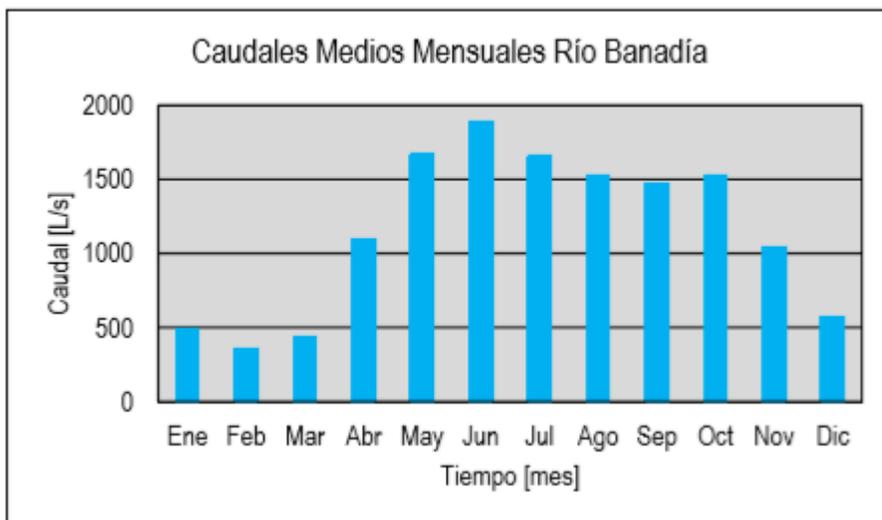


Figura 37 Caudales medios mensuales rieron Banadías
[2]

El caudal mínimo, ecológico o caudal mínimo remanente (Qec) requerido para el sostenimiento del ecosistema, la flora y la fauna de la corriente del Banadías se obtiene de acuerdo a la metodología del IDEAM con un valor de 89.5 L/s el cual corresponde al 25% del caudal mínimo (Qmin) mensual multianual. En la *tabla 7* se observa datos de la fuente para diagnóstico de bocatoma.

DATOS DE LA FUENTE – RIO BANADÍAS	
Qmin	0.358 m ³ /s



Qmax	1.897 m ³ /s
Qec	0.0895 m ³ /s

Tabla 8 Datos de la fuente para diagnóstico de bocatoma del acueducto
[2]

3.3.2.2. REJILLA

La rejilla es rectangular de 6.16 de largo por 0.32 m de ancho con 219 barrotes de 0.0254 m, separados cada 0.03 m. en la *tabla 4* se puede analizar de una mejor forma.

DATOS DE REJILLA	
Ancho de vertedero (W)	20.58 m
Longitud de la rejilla (Lr)	6.16 m
Ancho de la rejilla (B)	0.32 m
# Espacios	218
Separación entre barrotes (a)	0.003 m
Diámetro de barrotes (b)	0.025 m
Área	1.971 m ²
Espacios	0.209 m ²
Relación entre área de abertura y área total de rejilla	0.11

Tabla 9 Datos de la rejilla de bocatoma
[2]

3.3.2.3. DESARENADOR

EMCOAAAFOR ESP, cuenta con tres unidades desarenadoras tipo convencional en concreto a cota base de 504.96 m.s.n.m en donde dos de ellas son utilizadas para las redes rurales y la última va hacia la PTAP.

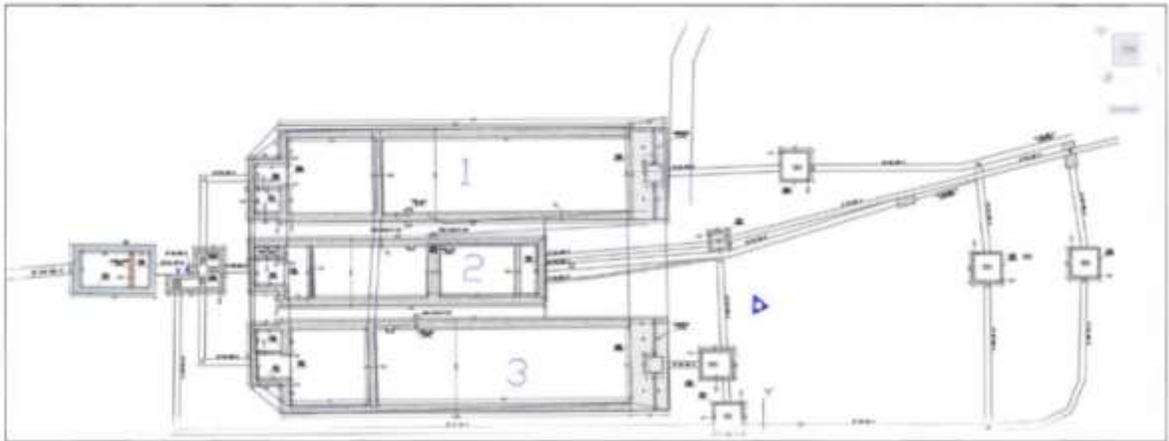


Figura 38 Unidades desarenadoras
[2]

El desarenador existente en el sistema de acueducto del municipio de Fortul es la unidad 1. Fue construido en el año 2004 y cuenta con válvulas de control de 10” en buen estado, las cuales operan completamente abiertas y para el lavado o mantenimiento se cierran. La estructura cuenta con la característica de un desarenador convencional, cuenta con una cámara de aquietamiento, zona de entrada, zona de sedimentación, zona de salida, zona de almacenamiento de lodos, pantalla de entrada y pantalla de salida, la estructura cuenta con un bypass en PVC de 10” y un sistema de lavado localizado en el costado noreste de la estructura que descarga en el río Banadías con una longitud de 19.36 m.



Figura 39 Desarenador
[Autor]



La red de conducción 1 con una longitud de 4897.94 m desde la salida del desarenador hasta la PTAP.

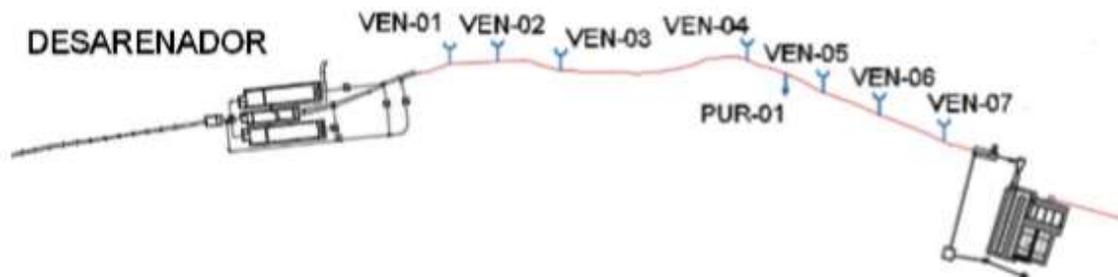


Figura 40 Red de conducción 1
[2]

De acuerdo a lo que se puede apreciar en la *figura 40* en la *tabla 9* se darán a conocer algunas características generales de las válvulas utilizadas con su respectiva ubicación.

Válvulas					
Accesorio	Diámetro (in)	Estado	Tipo	Coordenadas	
				Este	Norte
Purga	8	Malo	Comp vástago no asc	914098.882	1235960.480
Ventosa 1 VEN-01	8" x 2"	Malo	Artesanal	912166.364	1235336.842
Ventosa 2 VEN-02	8" x 2"	Malo	Cámara doble	912401.431	1235384.258
Ventosa 3 VEN-03	8" x 2"	Bueno	Cámara doble	912721.148	1235568.445
Ventosa 4 VEN-04	8" x 2"	Bueno	Cámara doble	913803.976	1235910.155
Ventosa 5 VEN-05	8" x 2"	Bueno	Cámara doble	914620.219	1236047.471
Ventosa 6 VEN-06	8" x 2"	Malo	Cámara doble	915194.781	1236138.213
Ventosa 7 VEN-07	8" x 2"	Bueno	Cámara doble	915928.101	1236080.897

Tabla 10 Válvulas red de conducción 1
[2]



Figura 41 Ventosa cámara doble 8"
[Autor]

De acuerdo a la evaluación hidráulica de la conducción 1 se verificó la capacidad hidráulica del sistema fuera mayor o igual al caudal de diseño en escenario actual (2015) y proyección (2040). Los lineamientos para dicho diagnóstico están basados en el numeral B.6.4.2 del RAS – 2000 y en el texto de literatura de Hidráulica de Tuberías de Juan Saldarriaga. El desarrollo teórico es el explicado en el numeral 1.6.1.7 para tuberías simples. Se tiene entonces que para el nivel de complejidad Medio - Alto la conducción debe diseñarse con el caudal máximo diario (QMD) más las pérdidas en la conducción y las necesidades en la planta de tratamiento (B.6.4.2).

La descripción general del sistema es:

DATOS DEL SISTEMA			
Nivel complejidad	Medio – Alto	Nivel complejidad	Medio – Alto
Qmd 2015	19.31 l/s	Qmd 2040	46.12 l/s
QMD 2015	23.17 l/s	QMD 2040	55.35 l/s
QD 2015	25.3 l/s	QD 2040	60.4 l/s

Tabla 11 Descripción general de conducción 1
[2]



3.3.3. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE

La planta de tratamiento de agua potable de EMCOAAAFOR ESP, está localizada en la vereda el Refugio, construida en el año 1985 y modificada en el 2007, está construida en una hectárea de tierra la cual se encuentra encerrada en malla protegiéndola del ingreso a personal no autorizado que pueda afectar el proceso de potabilización, la planta de tratamiento es de tipo convencional en concreto reforzado, semienterrada. quien lleva a cabo el proceso de potabilización de forma manual, y que a pesar de el gran esfuerzo de los trabajadores, no garantizan un servicio de alta calidad, por la variables que se deben manipular durante el proceso, por lo tanto se generan error en las mediciones, en el control en la dosificación, y parámetros que se deben cumplir de acuerdo al decreto 1575 de 2007 y resolución 2115 de 2007, el diagnóstico se hizo con el fin de poder determinar el estado actual y ayudar con la construcción de los del Diagrama de instrumentación y tubería P&ID, con la ayuda de la matriz de Calidad QFD, a partir de este diagnóstico podremos determinar la instrumentación correspondiente a cada subproceso en la planta.

En el esquema de la *figura 42* se muestra las fases que componen la planta de potabilización de agua potable.

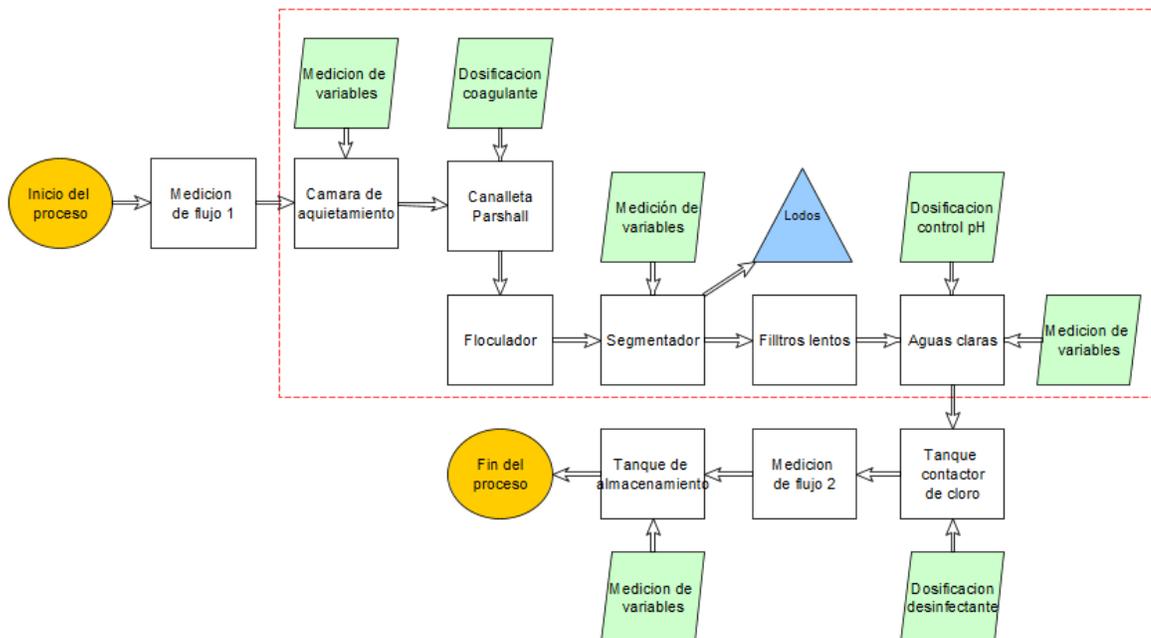




Figura 42 Diagrama de bloques del proceso de potabilización
[Autor]

La planta de tratamiento dentro de sus instalaciones está distribuida de acuerdo al proceso y subproceso como almacenamientos químicos, laboratorios, restaurante, dosificadores de químicos y demás edificaciones, en la *figura 43* se dan a conocer la ubicación y en la *tabla 11* los nombres de las diferentes áreas de la planta.



Figura 43 Planta de tratamiento de agua potable
[Autor]

ÍTEM	NOMBRE DE ÁREAS
1	Bypass y medidor de flujo electromagnético
2	Cámara de aquietamiento – Canela Parshall
3	Dosificador Cal hidratada – Sulfato de aluminio
4	Floculadores
5	Sedimentadores
6	Filtros
7	Canal de aguas claras
8	Dosificador cloro gaseoso
9	Pozo profundo
10	Tanque contactor de cloro
11	Medidor de flujo electromagnético
12	Bypass aguas arriba tanques de almacenamiento
13	Tanque almacenamiento 1



14	Tanque almacenamiento 2
15	Lecho de secado
16	Planta eléctrica y herramientas
17	Almacenamiento de químico
18	Restaurante
19	Laboratorio microbiología
20	Laboratorio fisicoquímico y tanque de coagulante liquido
21	Entrada y salida PTAP

Tabla 12 Diferentes áreas de la PTAP
[Autor]

A continuación, se puede observar en la *figura 44* el plano estructural de la planta de tratamiento de agua potable de esta forma se logra obtener una mejor perspectiva de la planta.

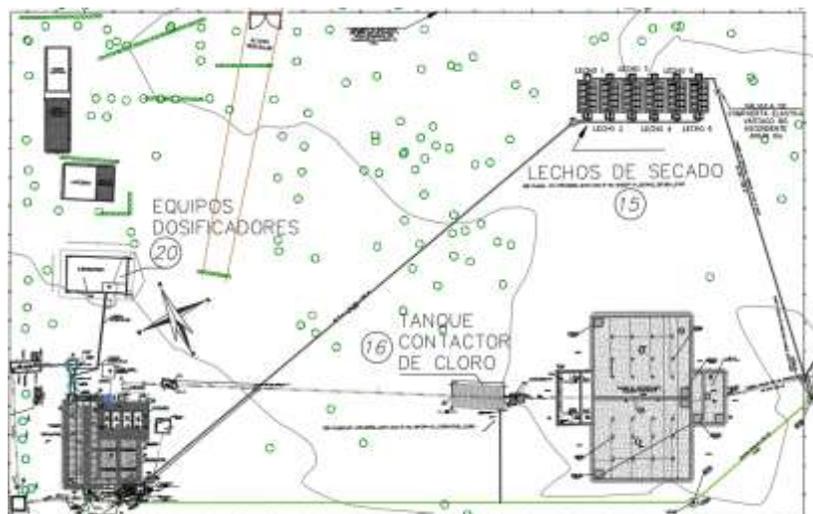


Figura 44 Plano estructural PTAP
[2]

3.3.3.1. CARACTERIZACIÓN Y MEDICIÓN DE LAS VARIABLES DE PROCESO EN LA PTAP

El agua presenta características en su entorno natural por este motivo no puede ser usada para el consumo directo del ser humano, en esta se encuentran



sustancias nocivas en el agua que son adquiridas cuando entran en contacto con el aire, suelo y demás factores que nos obligan a realizar un previo tratamiento debido a que no cumplen con los parámetros estipulado en la resolución 2115 de 2007 quien señala las características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para el consumo humano y el decreto 1575 quien establece el control y protección de la calidad del agua, de y no podrá sobrepasar los valores máximo aceptables para cada una de las características físicas, química y microbiológicas que se indican a continuación en la *tabla 13*.

CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS	VALOR ADMISIBLE	UNIDADES DE MEDICIÓN
Color aparente	≤ 15	Unidades platino – cobalto (UPC)
Turbiedad	≤ 2	NTU
Potencial de hidrogeno (pH)	$6.5 \geq \text{pH} \leq 9.0$	-
Cloro residual - libre	$0.3 \geq \text{NaClO} \leq 2.0$	(mg/l Cl_2)
Alcalinidad total	≤ 200	(mg/l CaCO_3)
Calcio	≤ 6	(mg/l Ca)
Fosfatos	≤ 0.5	(mg/l PO_4)
Magnesio	≤ 36	-
Dureza total	≤ 300	(mg/l CaCO_3)
Sulfatos	≤ 250	(mg/l SO_4)
Hierro total	≤ 0.3	(mg/l Fe)
Cloruros	≤ 250	cloruros (mg/l Cl)
Nitratos	≤ 10	nitratos (mg/l NO_3)
Nitritos	≤ 0.1	(mg/l NO_2)
Aluminio	≤ 0.2	(mg/l Al)
Fluoruros	< 1	(mg/l F)
E. coli	< 1	-
Coliformes totales	< 1	-
Olor y sabor	-	-
Sustancias flotantes	-	-
Conductividad	< 1000	< 1000

Tabla 13 Características físico - químicas Resolución 2115 / Decreto 1575 de 2007
[Autor]



- **Conductividad:** Según la resolución 2115 de 2007 el valor máximo aceptable para a la conductividad puede ser hasta 1000 microsiemens/cm. Este valor se ajustará de acuerdo a los promedios habituales y mapa de riesgo en la zona, esto permite determinar el incremento de los valores habituales el cual indicará cambios sospechosos en la cantidad de los sólidos disueltos y su procedencia deberá ser investigada de inmediata por las autoridades sanitarias.
- **Turbidez:** La turbidez puede impactar los ecosistemas acuáticos al afectar la fotosíntesis la cual limita el paso de la luz solar, respiración y reproducción de la vida acuática, la turbidez es considerada una buena medida de la calidad del agua. [19] Según la organización mundial de la salud **OMS**, la turbiedad del agua filtrada será de ≤ 1 UNT en el 95% de las muestras (y ninguna debe superar 5 UNT) [20]
- **pH:** El potencial hidrogeno o pH, es un parámetro de suma importancia, en aguas naturales como en aguas residuales, la condición de esta variable define si son ácidas o alcalinas, [22], por definición el pH es el logaritmo inverso de la concentración de ion hidrogeno, un pH menor de 7.0 indica acidez en el agua, cuanto menor sea el valor del pH mayor es la concentración de iones hidrogeno y mayor es la acidez. [9]. La turbiedad elevada puede proteger a los microorganismos de los efectos de la desinfección, estimular la proliferación de bacterias y generar una demanda significativa de cloro.



Figura 45 Indicador de pH
[23]

- **Temperatura:** La temperatura es un parámetro físico de gran importancia en el agua, a pesar de ello no se tiene como características de calidad del agua potable, cuando la temperatura aumenta, la concentración de oxígeno se reduce [22] haciendo la proliferación de microorganismos pudiendo alterar las características de sabor, color y corrosión. [9]



- **Cloro residual:** Es el cloro activo, capaz de ejercer acción desinfectante después de un cierto tiempo de la aplicación al agua.
- **Color:** El color es una propiedad física que indirectamente describe el origen y las propiedades del agua, la coloración del indica la posible presencia de óxidos metálicos, como puede ser el óxido de fierro, el cual da al agua un color rojizo [9]

3.3.3.2. INSTRUMENTACIÓN EN PTAP ACTUAL

Los procesos industriales, en especial aquellos que son dirigidos a la automatización, existe la necesidad del uso de la instrumentación industrial, se trata de un conjunto de factores que ayudan a asegurar el trabajo mutuamente en el mejoramiento continuo del proceso industrial. [24] Para lograr este protocolo, los operarios en el área utilizan equipamientos especiales, así como dispositivos especializados, entre ellos la medición y control del proceso que suelen medir factores físico químico como caudal, nivel, presión, turbidez, pH, temperatura, cloro residual, color. [25]

De los múltiples factores que conlleva la automatización industrial, uno de los más importantes son los elementos primarios conocidos como sensores, se trata de un proceso en el que una entrada percibida por un instrumentos de medición de acuerdo a su principio físico de funcionamiento, convierte en una señal de entrada en una señal de salida, estas señales son de gran importancia en la automatización, pues las señales percibidas se traducen en señales ópticas, eléctricas, mecánicas entre otras.

SENSORES, EQUIPOS E INDICADORES DE MEDICIÓN

Medición de caudal

Los medidores de caudal son dispositivos encargados de transformar los cambios de caudal en señales eléctricas. Cabe destacar que los caudalímetros se pueden clasificar, según el tipo de señal que éstos generan. [33] En la *tabla 15* se observan los instrumentos de medición de caudal de la PTAP.

INSTRUMENTOS PRIMARIOS



Ítem	Requisito	Activación		Instrumento Utilizado																														
		Manual	Automático																															
1	Medición de caudal por medida métrica	✓		 <p>Figura 46 Regla metálica 30 cm [Autor]</p> <p>Una forma de hacer la medición del caudal es con una regla metálica en la <i>figura 46</i>, donde se hace una relación de fluido que circula a través de sección transversal de la Canaleta Parshall que fue determinada en el diseño de la estructura, para dicha medición se coloca la regla sobre la pared de la canela, midiendo la altura, dicha relación se muestra en la <i>tabla 14</i></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>ALTURA (CM)</th> <th>CAUDAL (L/S)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0.47</td></tr> <tr><td>2</td><td>1.35</td></tr> <tr><td>3</td><td>2.5</td></tr> <tr><td>4</td><td>3.9</td></tr> <tr><td>5</td><td>5.5</td></tr> <tr><td>6</td><td>7.2</td></tr> <tr><td>7</td><td>9.2</td></tr> <tr><td>8</td><td>11.2</td></tr> <tr><td>9</td><td>13.5</td></tr> <tr><td>10</td><td>16</td></tr> <tr><td>11</td><td>18.3</td></tr> <tr><td>12</td><td>20.9</td></tr> <tr><td>13</td><td>23.6</td></tr> <tr><td>14</td><td>26.4</td></tr> </tbody> </table>	ALTURA (CM)	CAUDAL (L/S)	1	0.47	2	1.35	3	2.5	4	3.9	5	5.5	6	7.2	7	9.2	8	11.2	9	13.5	10	16	11	18.3	12	20.9	13	23.6	14	26.4
ALTURA (CM)	CAUDAL (L/S)																																	
1	0.47																																	
2	1.35																																	
3	2.5																																	
4	3.9																																	
5	5.5																																	
6	7.2																																	
7	9.2																																	
8	11.2																																	
9	13.5																																	
10	16																																	
11	18.3																																	
12	20.9																																	
13	23.6																																	
14	26.4																																	



				<table border="1"> <tr><td>15</td><td>29.1</td></tr> <tr><td>16</td><td>32.4</td></tr> <tr><td>17</td><td>35.6</td></tr> <tr><td>18</td><td>38.8</td></tr> <tr><td>19</td><td>42.2</td></tr> <tr><td>20</td><td>46</td></tr> <tr><td>21</td><td>49.2</td></tr> </table> <p>Tabla 14 Caudal en canaleta parcha de acuerdo a la altura [25]</p>	15	29.1	16	32.4	17	35.6	18	38.8	19	42.2	20	46	21	49.2
15	29.1																	
16	32.4																	
17	35.6																	
18	38.8																	
19	42.2																	
20	46																	
21	49.2																	
2	Medición de caudal electromagnético DOROT		✓	 <p>Figura 47 Medidor de flujo Dorot, entrada planta [Autor]</p> <p>Características</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Marca: Dorot ➤ Tipo: Electromagnético ➤ Modelo: MUT 2200/EL ➤ Parte N: AAC 0101 ➤ Diámetro Nominal (DN): 8" ➤ Precisión: ➤ PN: ANSI 150 ➤ Temperatura: 80 °C – 40 °C ➤ IP: 68 ➤ ELECTRODOS: HD ➤ Forro: EBANITE 														



REALIZAR UNA PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE EN LA EMPRESA EMCOAAAFOR ESP FORTUL ARAUCA

Universidad de Pamplona – Facultad de Ingenierías y Arquitectura

Departamento MMI – Ingeniería Mecatrónica

				<ul style="list-style-type: none">➤ Presión: 10 bar / 145 psi➤ Rata de flujo: 339 L/H➤ Peso: 44 Kg <p>Está en la entrada de la planta para calcular el flujo que llega desde la bocatoma, cuenta con un panel indicador en el que el operario se apoya para realizar la supervisión cada determinado tiempo, a través de un indicador digital en un tablero, dicho instrumento se observa en la <i>figura 48</i>.</p>  <p>Figura 48 Transmisor del sensor de flujo entrada planta [Autor]</p> <ul style="list-style-type: none">➤ Display LCD (2 líneas x 16 características)➤ Teclado➤ Conector TRM 100 (terminal portátil)➤ Salida de pulsos/frecuencia 24 VDC (aislada)➤ Salida de alarma➤ Salida analogica 4 – 20 mA (aislada)➤ Salida digital RS – 485➤ Detector tubería vacía➤ Entrada digital➤ Material de la caja : Plástica ABS➤ Grado de protección : IP68➤ Instalación : Compacta o remota➤ Frecuencia de medición 10/20 Hz MAN/AUTO
--	--	--	--	--



3			✓	 <p>Figura 49 Medidor de flujo, aguas arriba tanque de almacenamiento [Autor]</p> <p>Características</p> <ul style="list-style-type: none">➤ Marca: Siemens➤ Referencia: SITRANS F M MAG 8000 estándar (7ME6810)➤ Precisión: $\pm 0.4\%$ del valor medido ± 2 mm/s (DN 50 a DN 600)➤ Temperatura: Ambiente: -20 a $+60$ °C Fluidos: 0 a 70 °C Almacenamiento: -40 a $+70$ °C➤ Tamaño DN (diámetro): 8"➤ Sensor material: ASTM A 105➤ Orientación de medidor: Horizontal(H)➤ Encapsulado: IP68/NEMA 6P➤ Grupo de fluido: PED/L1➤ Suministro: Entrada de batería Litio➤ Presión máxima de trabajo permitida (MAWP) a -20 °C: 19.6 Bar/285 psi➤ Presión máxima de trabajo permitida (MAWP) a $+70$ °C: 18.6 Bar/270 psi➤ Conexión del proceso: ANSI Clase 150➤ Año de manufactura: 2016➤ Versión software: 3.07
---	--	--	---	---

Tabla 15 Instrumentos de medición de caudal de la PTAP
[Autor]



Medición de nivel

Para medir el nivel del fluido en un equipo existen dos tipos de métodos, los directos, que miden el desplazamiento de la superficie del líquido, y los indirectos, que miden las variables de presión y de desplazamiento de un elemento. A su vez, existen dos tipos de lecturas:

Todo o nada: Que se tratan de señales digitales donde se determina en caso de que el fluido supere el nivel de consigna o en caso de estar por debajo de ella.

Lectura proporcional: Se tratan de señales analógicas donde existe un rango de señal y esta proporciona el valor de la variable medida. [34] En la *tabla 17* se observa los instrumentos de medición de nivel de la PTAP.

INSTRUMENTACIÓN – SENSORES NIVEL				
Ítem	Requisito	Activación		Instrumento Utilizado
		Manual	Automático	
2	Medición de nivel	✓		 <p>Figura 50 Cinta métrica 4 m [Autor]</p> <p>Características</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Longitud: 4 m ➤ Material: Aluminio <p>Por medio del instrumento de la <i>figura 50</i> el operario puede determinar el nivel del tanque de manera visual, la capacidad del tanque es</p>



REALIZAR UNA PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE EN LA EMPRESA EMCOAAAFOR ESP FORTUL ARAUCA

Universidad de Pamplona – Facultad de Ingenierías y Arquitectura

Departamento MMI – Ingeniería Mecatrónica

				de 1500 Litros. En <i>tabla 16</i> se da a conocer la relación entre altura y volumen del tanque.																																																																		
				<table border="1"><thead><tr><th>ALTURA (M)</th><th>VOLUMEN (M³)</th></tr></thead><tbody><tr><td>1.0</td><td>380.36</td></tr><tr><td>1.10</td><td>418.40</td></tr><tr><td>1.15</td><td>437.42</td></tr><tr><td>1.20</td><td>456.44</td></tr><tr><td>1.25</td><td>475.46</td></tr><tr><td>1.30</td><td>494.47</td></tr><tr><td>1.35</td><td>513.49</td></tr><tr><td>1.40</td><td>532.51</td></tr><tr><td>1.50</td><td>570.55</td></tr><tr><td>1.60</td><td>608.58</td></tr><tr><td>1.65</td><td>627.60</td></tr><tr><td>1.70</td><td>646.62</td></tr><tr><td>1.75</td><td>665.64</td></tr><tr><td>1.80</td><td>684.66</td></tr><tr><td>1.90</td><td>722.69</td></tr><tr><td>1.95</td><td>741.71</td></tr><tr><td>2.0</td><td>760.73</td></tr><tr><td>2.10</td><td>798.77</td></tr><tr><td>2.15</td><td>817.79</td></tr><tr><td>2.20</td><td>836.81</td></tr><tr><td>2.25</td><td>855.82</td></tr><tr><td>2.30</td><td>874.84</td></tr><tr><td>2.35</td><td>893.86</td></tr><tr><td>2.40</td><td>912.88</td></tr><tr><td>2.45</td><td>931.90</td></tr><tr><td>2.50</td><td>950.92</td></tr><tr><td>2.60</td><td>998.95</td></tr><tr><td>2.65</td><td>1007.97</td></tr><tr><td>2.70</td><td>1026.99</td></tr><tr><td>2.75</td><td>1046.01</td></tr><tr><td>2.80</td><td>1065.03</td></tr><tr><td>2.85</td><td>1084.04</td></tr></tbody></table>	ALTURA (M)	VOLUMEN (M ³)	1.0	380.36	1.10	418.40	1.15	437.42	1.20	456.44	1.25	475.46	1.30	494.47	1.35	513.49	1.40	532.51	1.50	570.55	1.60	608.58	1.65	627.60	1.70	646.62	1.75	665.64	1.80	684.66	1.90	722.69	1.95	741.71	2.0	760.73	2.10	798.77	2.15	817.79	2.20	836.81	2.25	855.82	2.30	874.84	2.35	893.86	2.40	912.88	2.45	931.90	2.50	950.92	2.60	998.95	2.65	1007.97	2.70	1026.99	2.75	1046.01	2.80	1065.03	2.85	1084.04
ALTURA (M)	VOLUMEN (M ³)																																																																					
1.0	380.36																																																																					
1.10	418.40																																																																					
1.15	437.42																																																																					
1.20	456.44																																																																					
1.25	475.46																																																																					
1.30	494.47																																																																					
1.35	513.49																																																																					
1.40	532.51																																																																					
1.50	570.55																																																																					
1.60	608.58																																																																					
1.65	627.60																																																																					
1.70	646.62																																																																					
1.75	665.64																																																																					
1.80	684.66																																																																					
1.90	722.69																																																																					
1.95	741.71																																																																					
2.0	760.73																																																																					
2.10	798.77																																																																					
2.15	817.79																																																																					
2.20	836.81																																																																					
2.25	855.82																																																																					
2.30	874.84																																																																					
2.35	893.86																																																																					
2.40	912.88																																																																					
2.45	931.90																																																																					
2.50	950.92																																																																					
2.60	998.95																																																																					
2.65	1007.97																																																																					
2.70	1026.99																																																																					
2.75	1046.01																																																																					
2.80	1065.03																																																																					
2.85	1084.04																																																																					



				2.90	1103.06
				2.95	1122.08
				3.0	1141.10
				3.1	1179.14
				3.15	1198.15
				3.20	1217.17
				3.25	1236.19
				3.30	1255.21
				3.40	1293.25
				3.45	1312.27
				3.50	1331.28
				3.55	1350.30
				3.60	1369.32
				3.65	1388.34
				3.70	1407.36
				3.75	1426.38
				3.80	1445.39
				3.85	1483.43
				3.90	1502.47
				3.95	1513.23
				4.0	1521.45
Tabla 16 Almacenamiento tanque de almacenamiento [25]					

Tabla 17 Instrumentos de medición de nivel de la PTAP
[Autor]

Medidores de presión

Los sensores de presión son dispositivos encargados de transformar los cambios de la presión en señales eléctricas.

INSTRUMENTACIÓN – SENSORES PRESIÓN				
Ítem	Requisito	Activación		Instrumento Utilizado
		Manual	Automático	



1	Medición de presión	✓		No se realiza ningún tipo medición de presión en la planta de tratamiento de agua potable, esta funciona por desnivel de la superficie en pendiente descendiente.
---	---------------------	---	--	---

Tabla 18 Instrumentos de medición de presión de la PTAP
 [Autor]

Medición de turbidez

INSTRUMENTACIÓN – SENSORES TURBIDEZ				
Ítem	Requisito	Activación		Instrumento Utilizado
		Manual	Automático	
1	Medición de turbidez	✓		 <p>Figura 51 Turbidímetro [Autor]</p> <p>Características</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Marca: Hach ➤ Referencia: 2100P ➤ Precisión: ± 2% ➤ Resolución: 0.01 NTU ➤ Rango: 0-1000 NTU (Unidad de turbidez nefelométrica) ➤ Capacidad de repetición: ±1% de la lectura, 0,01 NTU (con patrones Gelex). ➤ Tiempo de respuesta: 6000 ms ➤ Luz difusa: <0.02 NTU ➤ Pantalla: Cristal líquida con 4 dígitos (0.4") ➤ Temperatura de almacenamiento: de -



				<p>40 a 60 °C (de -40 a 140 °F) (sólo el instrumento).</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Temperatura de funcionamiento: de 0 a 50 °C (de 32 a 122 °F) (sólo el instrumento). ➤ Dimensiones: 22,2 X 9,5 X 7,9 ➤ Peso: 0.5 kg ➤ Max. Humedad de funcionamiento: 90%
--	--	--	--	--

Tabla 19 Instrumentos de medición de Turbidez de la PTAP
 [Autor]

Medición de pH, temperatura

INSTRUMENTACIÓN – SENSORES PH Y TEMPERATURA				
Ítem	Requisito	Activación		Instrumento Utilizado
		Manual	Automático	
1	Medición de pH, temperatura	✓		 <p>Figura 52 pH-metro WTW 315i [Autor]</p> <p>Características</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Marca: WTW ➤ Referencia: WTW 315i ➤ Alimentación: 4 pilas alcalinas de manganeso de 1,5 V, tipo A ➤ Temperatura ambiente Almacenamiento: -25 °C a +65 °C Operación: -10 °C a +55 °C ➤ Precisión (±1): ± 0.001 pH



				<ul style="list-style-type: none"> ➤ Peso: 0.3 Kg ➤ Dimensiones: 80x38x172 mm (Ancho x alto x largo) <p>pH metro o fotómetro. Toman muestra de agua de agua cruda de la cámara de aquietamiento donde posteriormente la llevan al laboratorio para ser analizada fisicoquímico con el respectivo instrumento.</p> <p>También se puede analizar la temperatura donde la muestra se extrae directamente del sedimentador</p>  <p>Figura 53 Medidor de pH visual [Autor]</p> <p>Como alternativa se tiene un medidor de pH visual, este instrumento a pesar de su baja precisión es un usado en respaldo, en la figura 53 se observa el instrumento.</p>
--	--	--	--	---

Tabla 20 Instrumentos de medición de pH y Temperatura de la PTAP
[Autor]

Medición cloro residual, color

INSTRUMENTACIÓN – SENSORES CLORO RESIDUAL Y COLOR				
Ítem	Requisito	Activación		Instrumento Utilizado
		Manual	Automático	
1	Medición cloro residual, color	✓		



Figura 54 Fotómetro PF-11
[Autor]

Características

- Marca: Macherey - Nagel
- Tipo: Fotómetro de filtros monohaz
- Sistema óptico: porta filtros giratorio con 6 filtros de vidrio coloreados
- Longitud de onda: 380 / 405 / 470 / 520 / 605 / 720 nm
- Fuente de luz: Lámpara de tungsteno
- Detector: Foto elemento de silicio
- Pantalla: Pantalla cristal líquido 2x16 caracteres, 5 mm de altura
- Teclado: 3 teclas con recubrimiento de protección
- Rango de medición: < 2E
- Estabilidad: < 0,01E/h
- Interfase: Serie RS 232
- Alimentación: 4 baterías NC recargables 1,2V
- Dimensiones: 195x100x40mm
- Peso. 470g
- Interfaz: Analógica



2	Medidor de color de forma visual	✓		 <p>Figura 55 Medidor de color visual [Autor]</p> <p>Cuando el equipo presente averías se hacen las mediciones con el medidor de color visual.</p> <p>La medición comienza con la toma de muestra de agua cruda de la cámara de quietamiento donde posteriormente la llevan al laboratorio para realizar el análisis fisicoquímico con el instrumento indicado.</p>
---	----------------------------------	---	--	---

Tabla 21 Instrumentos de medición de Cloro residual y Color de la PTAP
[Autor]

Puntos de medición en la PTAP de referencia

Los puntos de medición de la PTAP de referencia se observan en la *figura 56* que está enmarcado por un rectángulo rojo, seguido de la descripción de los puntos medidos y variables analizadas en la *tabla 22*.



Figura 56 Puntos de medición de la PTAP
[Autor]

ÍTEM	PUNTO DE MEDICIÓN	VARIABLES MEDIDAS
1	Cámara de aquietamiento	pH, color, turbidez, caudal
2	Segmentador	pH, color, turbidez
3	Aguas Claras	pH, temperatura
4	Tanques de almacenamiento	pH, color, turbidez, cloro residual libre, nivel
5	Casetas	Caudal

Tabla 22 Puntos medidos y variables analizadas
[Autor]

De acuerdo a los datos medidos se obtiene la base de datos generada en la planta de tratamiento de agua del formato utilizado, se darán a conocer datos relevantes de las temporadas de invierno del 1 de mayo de 2019 – 30 de junio de 2019 y verano 1 enero de 2020 – 27 de febrero de 2020, a continuación, se dan a conocer las gráficas en las muestras tomadas de acuerdo a la *figura 56* en los puntos 1 y 4.

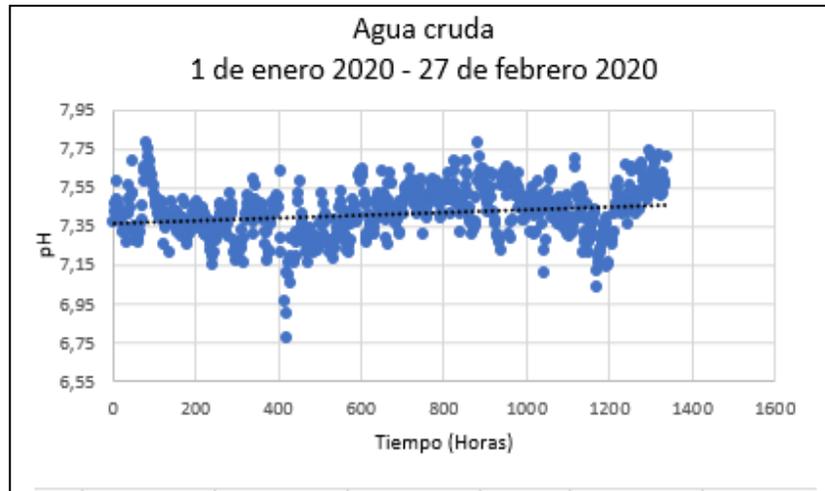


Figura 57 Comportamiento del pH en agua cruda en temporada de verano Vs tiempo de muestra (Cada dos horas)
[Autor]

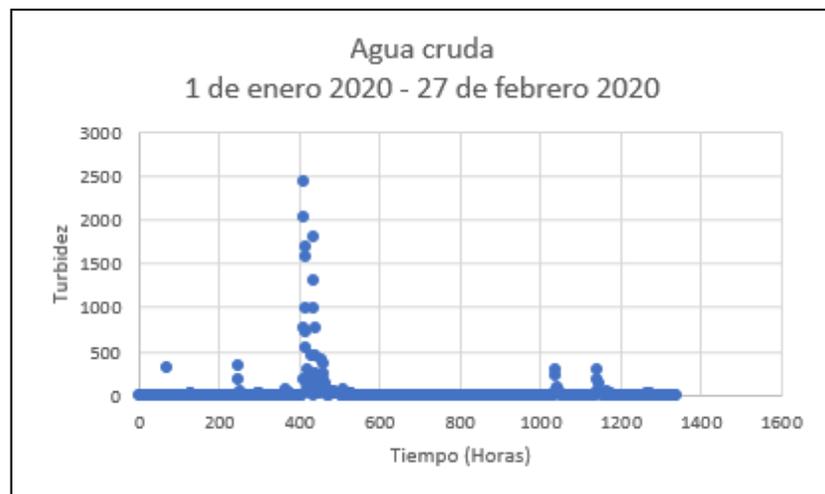


Figura 58 Comportamiento de la Turbidez en agua cruda en temporada de verano Vs tiempo de muestra (Cada dos horas)
[Autor]

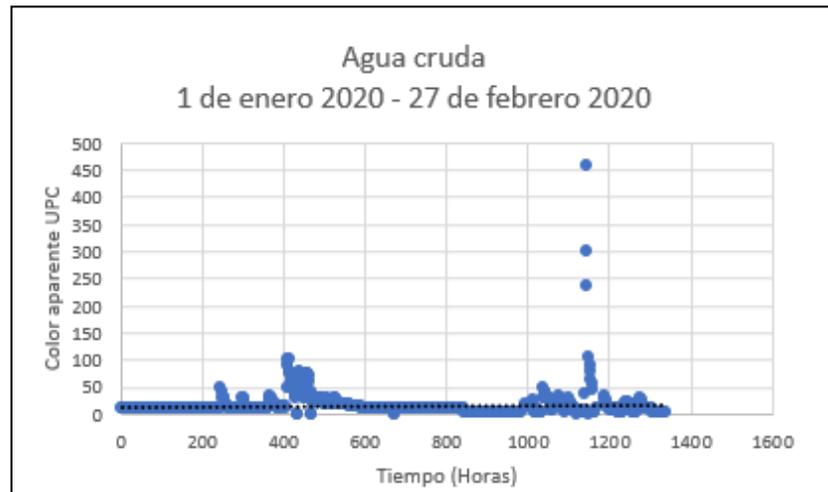


Figura 59 Comportamiento del Color aparente UPC en agua cruda en temporada de verano Vs tiempo de muestra (Cada dos horas)
[Autor]

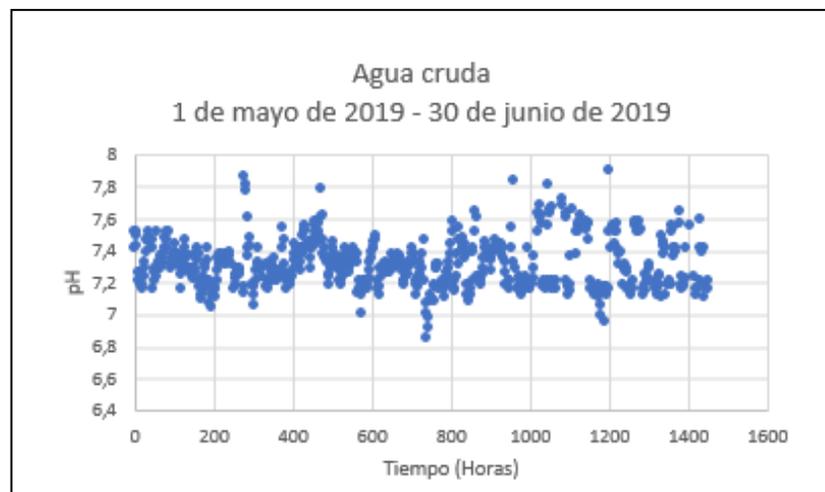


Figura 60 Comportamiento del pH en agua cruda en temporada de invierno Vs tiempo de muestra (Cada dos horas)
[Autor]

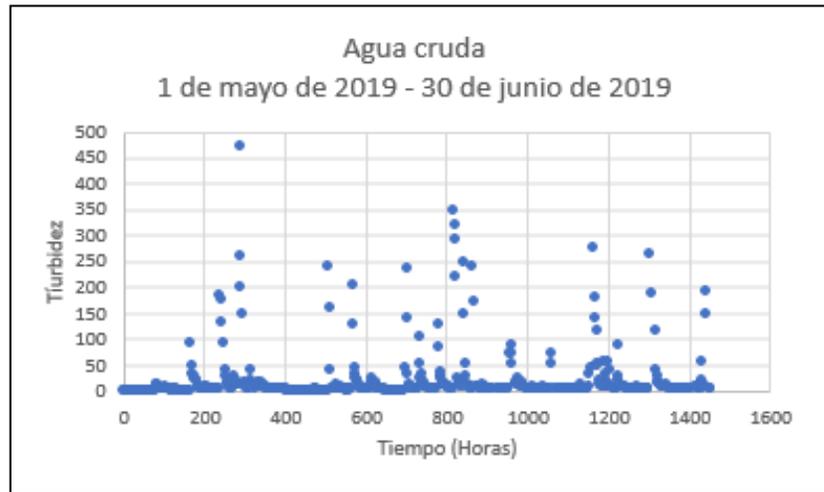


Figura 61 Comportamiento de la Turbidez en agua cruda en temporada de invierno Vs tiempo de muestra (Cada dos horas)
[Autor]

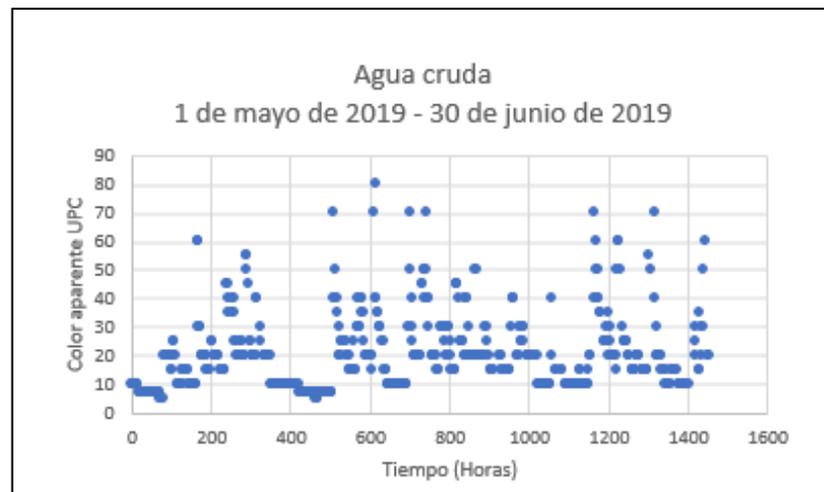


Figura 62 Comportamiento del Color aparente UPC en agua cruda en temporada de invierno Vs tiempo de muestra (Cada dos horas)
[Autor]

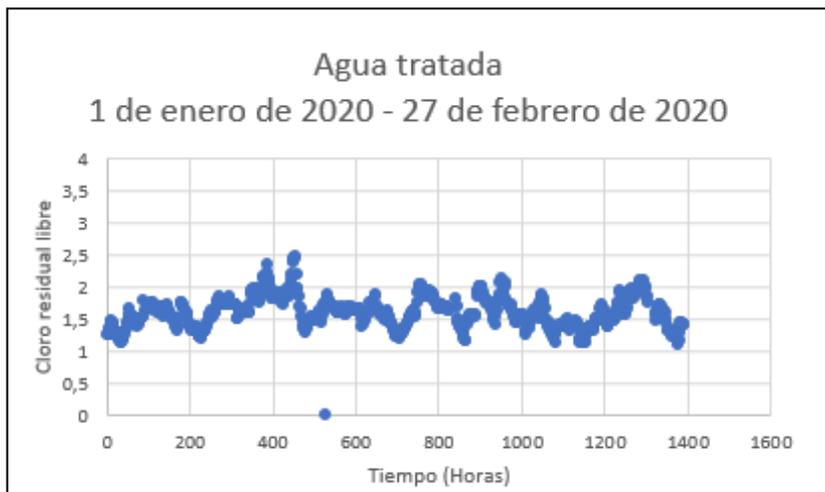


Figura 63 Comportamiento del Cloro Residual en agua tratada en temporada de verano Vs tiempo de muestra (Cada dos horas)
[Autor]

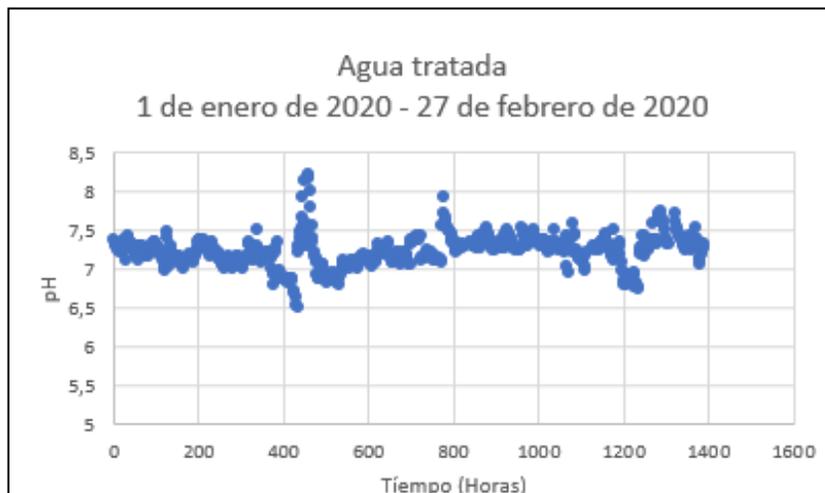


Figura 64 Comportamiento del pH en agua tratada en temporada de verano Vs tiempo de muestra (Cada dos horas)
[Autor]

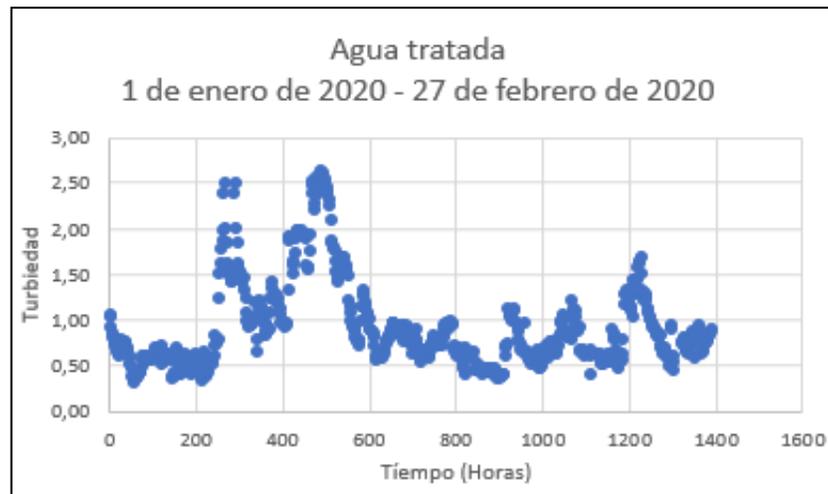


Figura 65 Comportamiento de la Turbiedad en agua tratada en temporada de verano Vs tiempo de muestra (Cada dos horas)
[Autor]

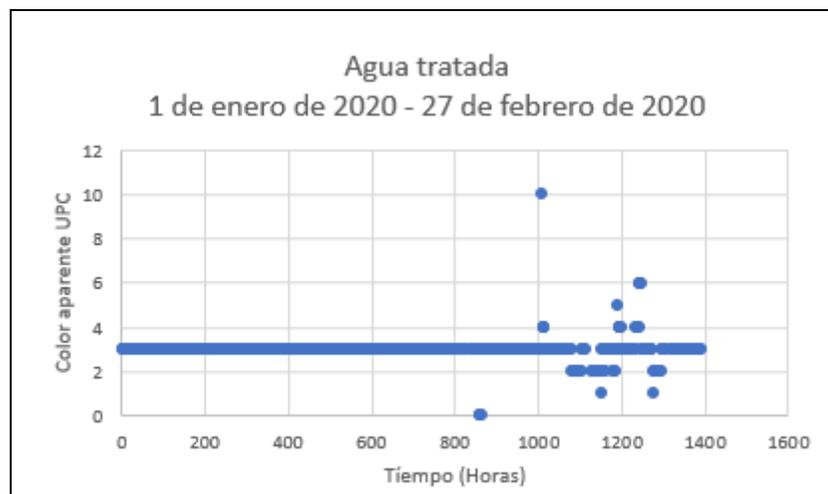


Figura 66 Comportamiento de Color Aparente UPC en agua tratada en temporada de verano Vs tiempo de muestra (Cada dos horas)
[Autor]

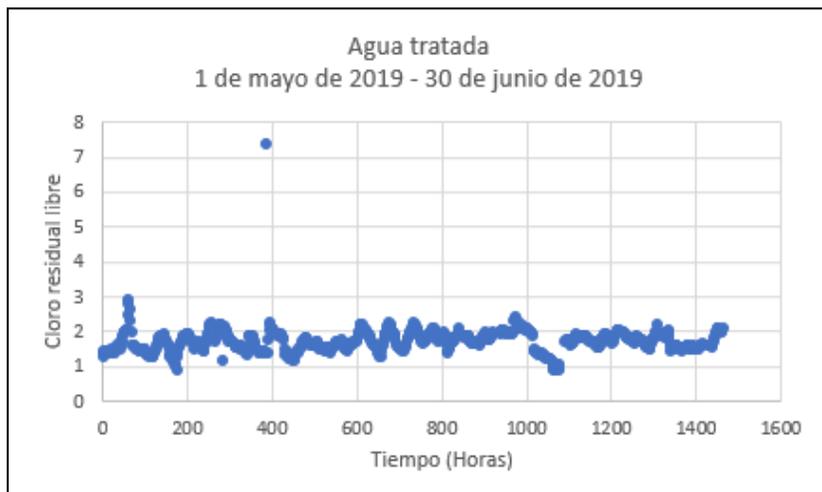


Figura 67 Comportamiento del Cloro Residual en agua tratada en temporada de invierno Vs tiempo de muestra (Cada dos horas)
[Autor]



Figura 68 Comportamiento del pH en agua tratada en temporada de invierno Vs tiempo de muestra (Cada dos horas)
[Autor]

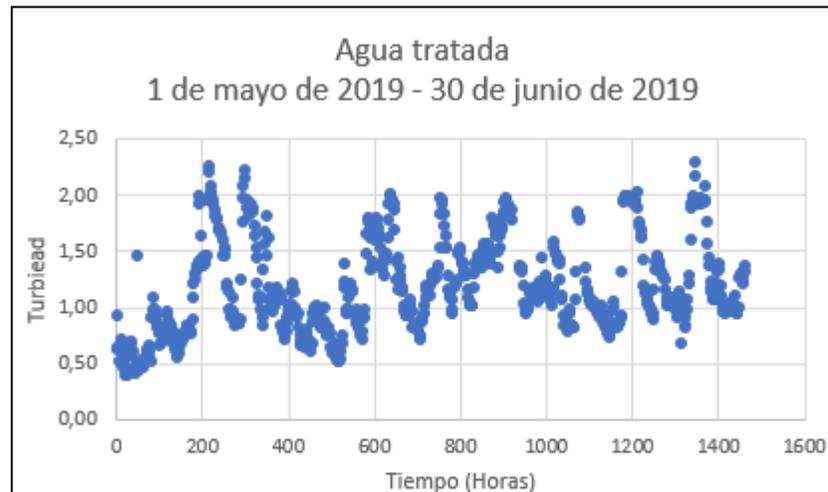


Figura 69 Comportamiento de la Turbiedad en agua tratada en temporada de invierno Vs tiempo de muestra (Cada dos horas)
[Autor]



Figura 70 Comportamiento del Color aparente UPC en agua tratada en temporada de invierno Vs tiempo de muestra (Cada dos horas)
[Autor]

ELEMENTOS FINALES DE CONTROL

Estos elementos finales de control es un mecanismo que altera el valor variable manipulada en respuesta a una señal de salida ya sea desde el dispositivo de control automático o manual. Estos elementos se ven relacionados en la *tabla 23*.



ACTUADORES			
Ítem	Instrumento	Descripción	Observaciones
1	Motor monofásico, Dosificador de sulfato de aluminio y dosificador de cal hidratada	<p>PARÁMETROS ELÉCTRICOS</p> <p>Tipo de motor: 1 ~ (Monofásico) Potencia: 0,37 KW Potencia: 0.5 HP Voltaje nominal: 115 / 230 V Corriente nominal: 8.6 / 4.3 A Tipo de conexión: Frecuencia nominal: 60 Hz Factor de potencia: (cos ϕ) 0,70</p>	<p>Cantidad de motores: 2</p>  <p>Figura 71 Motor monofásico dosificador [Autor]</p> <p>Estos motores se encuentran ubicados la sala de dosificación donde permite la adherencia de la cal hidratada y sulfato de aluminio, este subproceso cuenta con un equipo para cada dosificación de químico, a cantidad de material adherido al proceso es diferente y este depende a la turbidez del agua y del caudal medido en la salida de la cámara de aquietamiento o a través del medidor de flujo DOROT, se puede observar los parámetros eléctricos y mecánicos, estos motores cuenta con protección de disyuntores, interruptores automáticos que pueden aislar el sistema por un corto circuito, una sobrecarga en la línea de tensión o pérdidas en una fase del motor.</p>



		<p>PARÁMETROS MECÁNICOS O CONSTRUCTIVOS</p> <p>Marca: Siemens 1LF7 082-4YD90 Velocidad nominal: 1725 RPM Factor de servicio: (SF) 1,25 Tipo de aislamiento: (Th. Cl) F Tamaño de marco: IEC 34 Grado de potencia: IP 54 Tipo constructivo: IMB 3 Torque: 7.2 Nm Peso motor: 9.2kg</p>	<div style="text-align: center;">  <p>Figura 72 Dosificador de químico sólido [Autor]</p> </div> <p>Este mecanismo es impulsado por el movimiento generado a través de la polea que los conecta con el actuador de la figura 41, este genera un movimiento continuo.</p> <p>Desde el punto químico se determina nuevos estudios en el proceso con la proyección de hacer una adaptación de químico en estado sólido a un químico en estado líquido Hidroxicloruro de aluminio, su abreviación es PACI según la norma ANSI/AWWA B408-10 disminuyendo el tiempo de homogeneización con el agua causada en por la mezcla rápida generada por la Canaleta Parshall, permitiendo la generación de los floc's de mejor forma.</p> <p>Para hacer la dosificación de estos dos químicos se transporta el fluido a por medio de tubería de PVC de 1" para la dosificación de cal hidratada y de PVC de 1" la dosificación de sulfato de aluminio tomada de la planta de potabilización, cantidad de químico es en proporción de partículas por millón PPM</p>
2	Bomba de vacío, dosificador químico líquido	<p>PARÁMETROS ELÉCTRICOS</p> <p>Tipo de motor: 1 ~ (Monofásico) Potencia: 1,1 KW Potencia: 1.5 HP Potencia: 23,9 watt Voltaje nominal: 100 – 240 Vac</p>	Cantidad de bombas: 1



		<p>Corriente nominal: 1.6 A Frecuencia nominal: 60 Hz</p>	 <p>Figura 73 Dosificador líquido Hidroxicloruro de aluminio [Autor]</p> <p>Esta es una bomba dosificadora de diafragma energizada mediante solenoide, caracterizadas principalmente por la dosificación discontinua mediante golpes del diafragma, el caudal de esta bomba puede ser variado de forma manual.</p>
		<p>PARÁMETROS MECÁNICOS O CONSTRUCTIVOS</p> <p>Marca: Tekna evo Referencia: AKS800NHP1000 Grado de potencia: IP 65 Presión a cierre: psi Peso motor: 3.5 kg Caudal: 10 L/h Presión: 10 Bar Frecuencia Máx: 300 Imp/min Capacidad por impulso: 0,55 cc/imp Conexión In/Out: 4 mm – 6 mm Interfaz: Analógica</p>	
3	Electrobombas	<p>PARÁMETROS ELÉCTRICOS</p> <p>Tipo de motor: 1 ~ (Monofásico) Potencia: 1,1 KW Potencia: 1.5 HP Voltaje nominal: 115 V Corriente nominal: 10 A Frecuencia nominal: 60 Hz</p>	<p>Cantidad de electrobombas: 2</p>  <p>Figura 74 Electrobomba [Autor]</p> <p>Estas electrobombas se encuentran junto al sistema de agua claras, cumplen la función de llevar el agua sin desinfectar las instalaciones sanitarias de la planta y el consumo humano, estas bombas son accionada desde del tablero de control de forma manual.</p>
		<p>PARÁMETROS MECÁNICOS O CONSTRUCTIVOS</p> <p>Marca: Aqua Pak FIX 15E Velocidad nominal: 3400 RPM Grado de potencia: IP 45 Aislamiento: Clase F Tipo constructivo: AISI 304 Presión a cierre: 76 psi Peso motor: 11.5 kg Litros por minuto (Qmax): 68 L/min Altura máxima (Hmax): 54 m Conexión In/Out: 1" Dimensiones: 195 x 375 x 205 mm</p>	
4	Motor Ac, agitador de Cal	<p>PARÁMETROS ELÉCTRICOS</p>	<p>Cantidad de electrobombas: 1</p>



		<p>Tipo de motor: 3 ~ (Trifásico) Potencia: 0,75 kW Potencia: 1 HP Voltaje nominal: 220 / 440 V Corriente nominal: 0,34 / A Tipo de conexión: Estrella o Y / Estrella o Y Frecuencia nominal: 60 Hz Factor de potencia: (cos ϕ) 0,79</p>	 <p>Figura 75 Motor trifásico agitador [Autor]</p>
		<p>PARÁMETROS MECÁNICOS O CONSTRUCTIVOS</p> <p>Marca: Siemens 1LA7 073-4YA60 Velocidad nominal: 3310 RPM Factor de servicio: (SF) 1,15 Tipo de aislamiento: (Th.CI) F Tamaño de marco: IEC 34 Grado de potencia: IP 56 Tipo constructivo: IMB 3 Torque: 6.1 Nm Peso motor: 6 Kg</p>	<p>Este actuador permite agitar la cal hidratada en una solución con agua agregando una cantidad de 10 kg en un tanque con una capacidad de 500 L en la figura 76 se puede observar. La activación se hace a través de un interruptor localizado en el tablero de control ubicado junto al laboratorio de microbiología, este es activado por el operario.</p>  <p>Figura 76 Tanque de mezclado 500 L [Autor]</p>
ÍTEM	REQUISITO	DESCRIPCIÓN	
5	Dosificador de cloro gaseoso	Cantidad de dosificador de hipoclorito de sodio: 1	



Figura 77 Dosificador de hipoclorito de sodio
 [Autor]

Características

- Marca: Regal
- Modelo: Regal 210
- Capacidad: 100 libras/24 horas – 2000 gramos/hora
- Suministro: Eyector de vacío
- Presión máx.: 200 psi

El clorinador es una alimentación de solución operado al vacío, este se encuentra anclado a la pared permitiendo un fácil desmonte, el caudal del cloro se ajusta manualmente y está regulado por un diafragma opuesto por resorte que este contenido junto a la válvula de cierre de seguridad, el vacío es provisto por un eyector de agua altamente eficiente que se acopla estrechamente con el difusor de solución de cloro. El eyector contiene una válvula de antirretorno. La báscula digital permite el monitoreo de la cantidad de químico presente en la pipeta. Este instrumento permite la dosificación del hipoclorito de sodio. El suministrado se realiza de acuerdo al análisis fisicoquímico que se realiza en el tanque de almacenamiento cada dos horas y al flujo medido en la entrada.

ÍTEM	REQUISITO	DESCRIPCIÓN
1	Válvula 8"	<p>Con respecto a las válvulas, se determina que el proceso cuenta con una variedad de válvulas en tamaño, forma, capacidad, accionamiento, a pesar de eso, las válvulas más representativas son de 8", 6," 4", 2", ½ ", por ello se determina dar a conocer cada una de las características y ubicación, resaltar que en el diagrama P&id se observa de una forma ordenada y entendible con respecto a la ubicación.</p> <p>De acuerdo a la <i>figura 78</i> se darán a conocer las características del filtro en y, y válvulas de 8" reguladas.</p>

DN Pulg	mm	H	L	L1	L2		E
					PVC	ASBESTO CIMENTO	
2	50	260	275	177.8	298	360	89
3	75	301	325.8	203.2	325.8	425	108
4	100	352	343	228.6	343	465	114
6	150	426	400	266.7	440	490	140
8	200	508	434.5	292.1	506.4	475	159
10	250	645	500	330.2	530	475	184
12	300	710	561	355.6	660	480	210

DIMENSIONES GENERALES

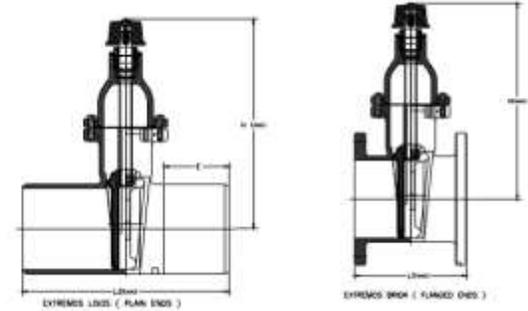
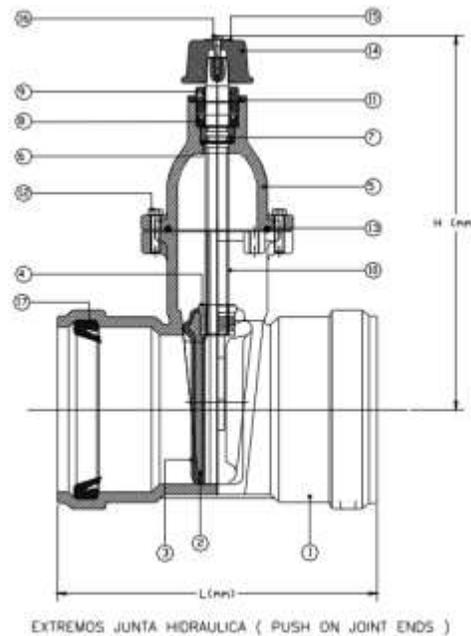


Figura 78 Dimensiones generales de la válvula de compuerta elástica [35]



17	EMPAQUE HIDROSELLO	ELASTOMERO SBR	NTC 2538
16	TORNILLO HEXAGONAL	ACERO INOX.	MSI 304
15	ARANDELA	ACERO INOX.	MSI 304
14	DADO DE OPERACION	HIERRO NODULAR	ASTM A 536
13	EMPAQUE ENTRE CUERPOS	ELASTOMERO SBR	ASTM D 2000
12	TORNILLO HEXAGONAL	ACERO INOX.	MSI 304
11	ORING	NITRILLO	ASTM D 2000
10	VASTAGO	ACERO INOX.	MSI 304 / MSI 410
9	TUERCA PORTA ORING	BRONCE	ASTM B-124
8	ANILLO ROSCADO DE RETENCION	HIERRO NODULAR	ASTM A 536
7	RETENEDOR VASTAGO	BRONCE	ASTM B-124
6	EMPAQUE SELLO TRASERO	ELASTOMERO SBR	ASTM D 2000
5	CUERPO SUPERIOR	HIERRO NODULAR	ASTM A536
4	INSERTO OBTURADOR	BRONCE	ASTM B-124
3	EMPAQUE VULCANIZADO	ELASTOMERO SBR	ASTM D 2000
2	NUCLEO OBTURADOR	HIERRO NODULAR	ASTM A 536
1	CUERPO INFERIOR	HIERRO NODULAR	ASTM A 536
No.	DENOMINACION	MATERIAL	NORMA

LISTA DE PARTES Y MATERIALES

Figura 79 Lista de partes y materiales de la válvula de compuerta elástica. [36]

Características de válvula de compuerta elástica

- Vástago: Alta resistencia al torque
- Pintura epoxica: Norma AWWA C-550
- Extremos: Junta hidráulica, brida, liso.
- Temperatura máx: 70 °C
- Presión máx: 200 PSI
- Marca: Apolo



Figura 80 Bypass Tee 8", entrada de la planta
[Autor]



Figura 81 Sistema de válvulas de 8", medidor de flujo, filtro en Y, aguas debajo de bypass
[Autor]

Características filtro Torino en Yee bridado 8"

- Cuerpo: Hierro dúctil ASTM A -536
- Unidad filtrante: Acero inoxidable AISI 304
- Pintura epoxica: Si
- Empaque entre cuerpos: Elastómero
- Unión extremos: Bridado



Figura 82 filtro en Yee bridado 8”
[Autor]



Figura 83 Válvula de compuerta elástico 8” aguas arriba cámara de aquietamiento.
[Autor]



Figura 84 Válvulas de compuerta, válvulas aguas arriba del filtro y lavado de filtro
[Autor]

Estas válvulas de compuerta nos brinda dos funciones dividida en los 4 filtros de los que se disponen, la compuerta aguas arriba del filtro permite el paso del agua que viene del sedimentador presentando características diferentes a las que ingresó a la

planta, esta compuerta tiene un una dimensiones de 0.50 m x 0.50 m, es accionada de modo manual por el operario, por otro lado la compuerta que se encuentra en la parte inferior del filtro se permite el retrolavado de los filtros por una compuerta de 0.48 m x 0.3 m según lo que se observa en la *figura 85*.

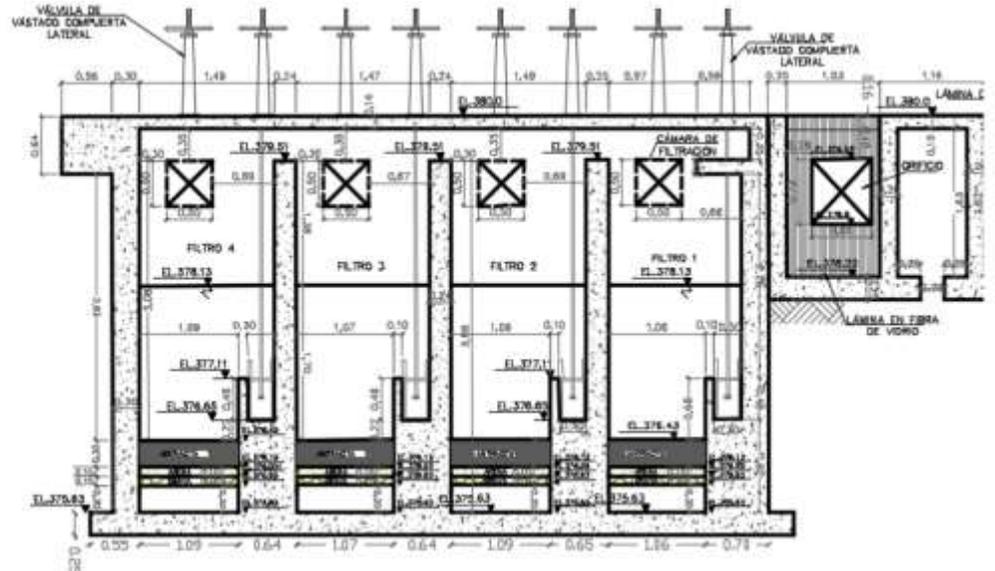


Figura 85 Perfil unidades filtrados [2]



Figura 86 Válvula de compuerta elástico 8", aguas abajo del canal de aguas claras [Autor]

En la *figura 86* se puede apreciar la forma en la que el desinfectante proveniente de



la caseta de dosificación de cloro gaseoso de la *figura 98*, logrando ser inyectado a través de un tubo de $\frac{1}{2}$ " a la tubería de 8".



Figura 87 Válvula de compuerta elástico 8", aguas arriba tanque contactor de cloro
[Autor]



Figura 88 Válvula de compuerta elástico 6", lavado del tanque contactor
[Autor]



La válvula de la *figura 87* es accionada manualmente para el lavado del tanque contactor de cloro, para ello se cierra la válvula de la *figura 88* y abriendo la válvula de la *figura 89* permitiendo circular el agua tratada por el bypass, la válvula de la *figura 90* está cerrada para impedir el paso de impurezas mientras se realiza mantenimiento y lavado al tanque contactor.



Figura 89 Válvula de compuerta elástico 8"
[Autor]



Figura 90 Válvula de compuerta elástico 8"
[Autor]



Las válvulas de sello elástico de la *figura 91* y *figura 92* se encuentran ubicadas aguas arriba del tanque de almacenamiento que son accionadas cuando el tanque de almacenamiento se le hace mantenimiento, depende que parte del compartimiento se haga mantenimiento y lavado.



Figura 91 *Válvula de compuerta elástico 8"*
[Autor]



Figura 92 Válvula de compuerta elástico 8"
[Autor]

En la *figura 93* se observa la válvula de compuerta elástico que permite el paso del agua tratada a través del bypass permitiendo el libre mantenimiento de los tanques de almacenamiento.



Figura 93 Válvula de compuerta elástico 8" bypass
[Autor]

En la *figura 94* se observan cuatro válvulas de compuerta elástico, la dos válvulas de 8" son aquellas que permiten la salida del agua tratada que fluye a través de la



		<p>red de conducción 2, mientras las válvulas de 6" impide la salida del tanque de almacenamiento mientras que no esté en mantenimiento, se observan dos tubos de PVC de 6" que descienden los cuales permite la salida del agua que se rebosa cuando el tanque de almacenamiento llegan a su tope por falta de un control óptimo, generando pérdidas.</p> <div data-bbox="766 436 1302 1121" data-label="Image"> </div> <p>Figura 94 Válvulas de compuerta elástico 8" y 6" [Autor]</p>
--	--	--

Tabla 23 Elementos finales de control
 [Autor]

INSUMOS QUIMICOS

Estos insumos permiten el pleno funcionamiento, permitiendo controlar las variables del proceso, estabilizando y manteniéndolo dentro de los valores establecidos por la normatividad. Estos elementos se ven relacionados en la *tabla 24*.

QUÍMICOS		
Ítem	Descripción	Observación



		 <p>Figura 95 Sulfato de aluminio [Autor]</p> <p>El sulfato de aluminio granulado permite clarificar el agua potable ya que es un coagulante, por lo tanto, se encarga de sedimentar los sólidos en suspensión.</p>
		 <p>Figura 96 Cal hidratada [Autor]</p> <p>La cal hidratada se usa para eliminar sales minerales de calcio y magnesio, además ayuda a eliminar las toxinas que pueden ser perjudiciales como el radón y arsénico, se suele disolver cal hidratada por medio del agitador y adherido en aguas claras para aumentar el pH.</p>



Figura 97 Hipoclorito de sodio
[Autor]

Esta pipeta contiene una concentración de hipoclorito de sodio de 68 Kg, el cual permite la desinfección del agua y la hace potable de acuerdo al decreto 1575 de 2007, esta se encuentra ubicada caseta de dosificación de hipoclorito de sodio. En la *figura 98* se puede observar.



Figura 98 Caseta de dosificación de hipoclorito de sodio
[Autor]

Una báscula digital permite observar la cantidad de cloro gaseoso restante dentro de la pipeta, de esta forma el operario determina cuando debe hacer el cambio de pipeta.



Figura 99 Indicador digital de la báscula
[Autor]



Figura 100 Báscula con capacidad de 300 kg
[Autor]

1



Figura 101 Reactivo Cl_1
[Autor]

Reactivo utilizado para llevar a cabo las mediciones de turbidez y color. Se adicionan tres (3) gotas a la muestra analizada.



		 <p>Figura 102 Reactivo Cl_2 [Autor]</p> <p>Reactivo utilizado para llevar a cabo las mediciones de turbidez y color. Se adiciona una (1) gota a la muestra analizada.</p>
		 <p>Figura 103 Hidroxicloruro [Autor]</p> <p>El Hidroxicloruro es un coagulante inorgánico polimerizado el cual está siendo implementando en la dosificación junto al tanque de almacenamiento con una capacidad de 5000 cm³</p>  <p>Figura 104 Tanque de almacenamiento de Hidroxicloruro de aluminio [Autor]</p>



		<p>Características</p> <ul style="list-style-type: none">➤ Fabricado: INGETECSA SAS➤ Material: Fibra de vidrio➤ Capacidad: 5000 L➤ Altura: 2.5 m➤ Peso: 80 Kg aprox.  <p>Figura 105 Instrumento de ensayo de jarras [Autor]</p> <p>El sistema logran hacer un análisis a escala de la planta para la dosificación óptima del coagulante, esta prueba consiste en tomar una muestra de agua en la cámara de aquietamiento, con el uso de jarras en el laboratorio físico-químico logrando simular la planta cuando el agua ingresa al floculador, posteriormente miden las diferentes dosis de coagulante liquido que se adiciona a cada jarra y encienden los actuadores generando una velocidad de 40 rpm en los agitadores, esta acción se realiza por 15 minutos, después de este tiempo se esperan 10 minutos para que sedimenten y se obtiene de forma visual el comportamiento de los flocs, determinando la dosificación.</p>
--	--	--

Tabla 24 Insumos químicos y otros elementos
[Autor]

Dosificación de químicos en la PTAP

De acuerdo a lo indagado en el proceso de la potabilización se requiere hacer la dosificación del químico de coagulación o desinfección, dependiendo si está en estado sólido, líquido o gaseoso, con el fin de determinar las cantidades se hace con base las variables medidas, pH, turbidez, color, temperatura, cloro residual libre.



Dosificación del coagulante

Q_{int} = Caudal de entrada a la planta (L/s)

K = factor de conversión

D_o = Dosis óptima (gr/min) en sólido y (mL/min) en líquido

D_c = Dosificación del coagulante

$$D_c = D_o * K * Q_{int}$$

Ecuación 1 Dosificación del coagulante
[25]

Dosificación desinfectante

Q_{int} = Caudal de entrada a la planta (L/s)

K = factor de conversión

Demanda teórica = 1.2 mg/L

D_{hs} = Dosificación de hipoclorito de sodio

$$D_{hs} = Q_{in} * 1.2 * K$$

Ecuación 2 Dosificación del desinfectante
[25]

TABLEROS DE CONTROL Y ACCIONAMIENTOS

El tablero de control permite el accionamiento automático del cambio de suministro de energía entre la planta eléctrica y la suministrada por la red, los diagramas eléctricos de los diferentes accionamientos como: bomba de pozo, electrobomba, hidrowflow, agitador, suministro de energía a los diferentes puntos de la planta como laboratorios, y caseta de dosificación de cloro. En la *tabla 25* se puede evidenciar.

FUENTES DE ENERGIA			
Ítem	Requisito	Activación	Equipo



		Manual	Automático	
1	Gabinete de control eléctrico	✓		 <p>Figura 106 Gabinete de control eléctrico [Autor]</p>

Tabla 25 Tablero de control y accionamiento eléctricos
[Autor]

FUENTES DE ENERGÍA ALTERNATIVA

El suministro de energía eléctrica de la planta de tratamiento de agua potable está a cargo de la empresa de energía de Arauca (ENELAR ESP), se cuentan con otra fuente de energía eléctrica por medio de un generador a combustión descrito a continuación en la *tabla 26*.

FUENTES DE ENERGÍA				
Ítem	Requisito	Activación		Equipo
		Manual	Automático	
1	Planta eléctrica		✓	



Figura 107 *Generador eléctrico a combustión*
[Autor]

Características

- Marca: STAMFORD
- Número de serie: L421705
- Marco/núcleo: BC1184F
- Tasa base de KVA: 39
- KW tasa base: 31
- Hz: 60
- RPM: 1800
- Voltios: 220
- Fase: 3
- Amperios tasa base: 102
- PF: 0.8
- Rating: STANDBY
- Ex. Voltios: 36
- Ex. Amperios: 1.8
- Temperatura ambiente: 40 °C
- Cubierta: IP 23
- Clase de aislamiento: Clase H
- Estator con: Series estrella
- AVR: SX460
- KVA tasa máxima
- Elevación de la temperatura: 150
- NEMA: MG 1.32

Este generador eléctrico es usado en caso de ausencia en la energía eléctrica suministrado por parte de ENELAR ESP, este proceso se hace de manera automática.



Tabla 26 Fuentes de energías alternativas
[Autor]

4. DESARROLLO DE INVESTIGACIÓN

4.1. CRITERIOS DE DISEÑO DE LA MATRIZ QFD

De acuerdo al diagnóstico se prosigue con la elaboración de la matriz QFD que nos brindara los parámetros a partir de las expectativas y necesidades de la empresa. El objetivo de esta investigación está enfocado a automatizar el proceso de potabilizar el agua mediante parámetros de medición y de control intervenidos en dicho proceso, sin embargo, al tratarse de un recurso vital para el desarrollo de nuestras vidas se hace necesario tener en cuenta los criterios de la empresa la cual está inmersa en el proceso.

Por lo tanto, con el fin de que el sistema planteado cumpla los requerimientos mínimos de funcionalidad, se realizó una encuesta dirigida al comité técnico de la empresa quienes conocimiento de ingeniería, teniendo en cuenta la opinión de la mayor cantidad de personas posibles, de esta forma con ayuda de la metodología QFD llegar a cumplir los objetivos propuestos.



Figura 108 Metodología a seguir en el diseño.
[30]

A continuación, se presenta la estadística de las encuestas aplicadas al personal de EMCOAAAFOR ESP.



Automatización de la planta de tratamiento de agua potable de EMCOAAA FOR ESP

Esta es una encuesta que se realiza al personal de EMCOAAA FOR ESP con el propósito de adquirir información que sirva de ayuda a la hora de planificar la propuesta, siendo esta una herramienta de apoyo en la construcción de la propuesta.

Figura 109 Presentación de la encuesta aplicada
[Autor]

4.2. ENCUESTA PERSONAL EMCOAAA FOR ESP

De acuerdo a lo anterior, ¿que tanto conoce del procedimiento del tratamiento de agua potable

6 respuestas

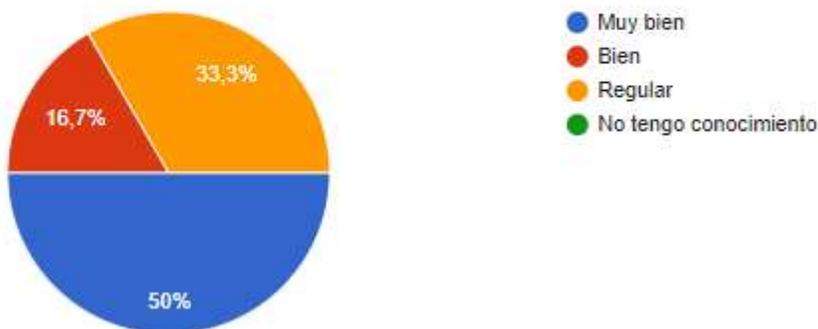


Figura 110 Pregunta 1, encuesta aplicada a personal de EMCOAAA FOR ESP
[Autor]



Se considera conveniente una buena planificación de acuerdo al alto porcentaje de seguridad, aumento de la productividad y calidad del agua, ¿Considera que puede aportar buenas ideas para el desarrollo de la propuesta de automatización?

6 respuestas

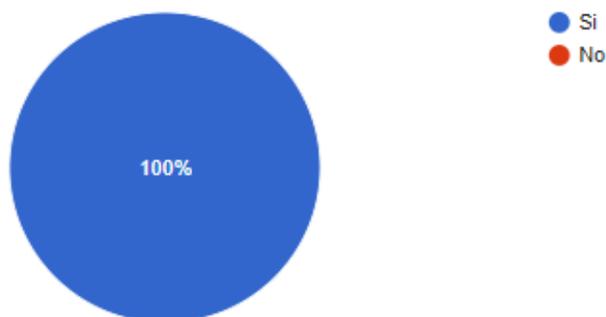


Figura 111 Pregunta 2, encuesta aplicada a personal de EMCOAAAFOR ESP
[Autor]

¿Que nivel de conocimiento tiene sobre?, sensores, actuadores, transmisores, válvulas, actuadores, elementos finales de control, controladores lógicos programables, sistemas de supervisión y adquisición de datos o SCADA

6 respuestas

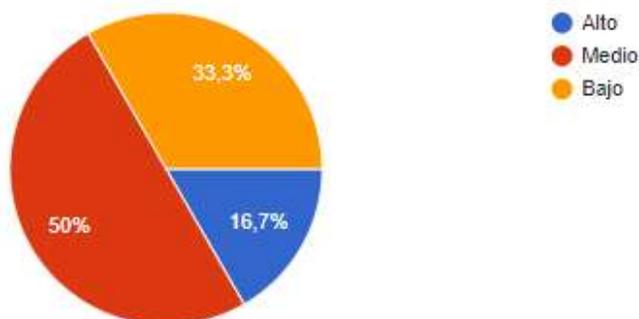


Figura 112 Pregunta 3, encuesta aplicada a personal de EMCOAAAFOR ESP
[Autor]



Teniendo en cuenta la proyección, estamos en la obligación y capacidad de emigrar a nuevas tecnologías, ¿Esta de acuerdo en capacitarse en el campo de la automatización, control e instrumentación industrial?

6 respuestas



Figura 113 Pregunta 4, encuesta aplicada a personal de EMCOAAAFOR ESP
[Autor]

Si usted usara este tipo de planta automatizada, ¿Quisiera intervenir a través de un interfaz HMI o pantalla en el proceso generando un control?

6 respuestas

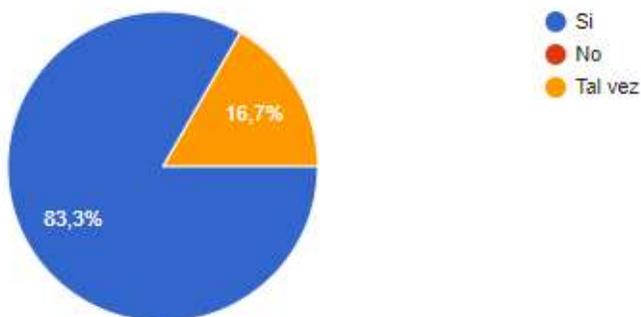


Figura 114 Pregunta 5, encuesta aplicada a personal de EMCOAAAFOR ESP
[Autor]



En las necesidades del proyecto se desea ampliar las variables medidas de acuerdo a la Resolución 2115 de 2007, al momento de hacer las mediciones de las variables en campo, el operario debe ir hasta cada punto, tomar la muestra y después analizarlas en el laboratorio, el tiempo promedio que se tarda realizando estas mediciones es de una hora, siendo una tarea repetitiva cada dos horas. Usar instrumentos en campo permite aumentar los puntos de muestreo en un menor tiempo de hasta de 100 muestras por hora. ¿Esta de acuerdo que estas mediciones se hagan con dichos instrumentos de medición directamente en campo y poder observarlas a través de una interfaz gráfica en tiempo real?

6 respuestas

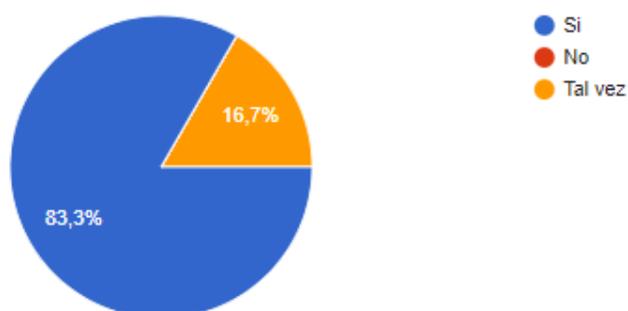


Figura 115 *Pregunta 6, encuesta aplicada a personal de EMCOAAAFOR ESP*
[Autor]

¿Esta de acuerdo que se hagan diagramas de bloques donde se estructuren los procedimientos aplicándolos en el proceso de mejor forma?

6 respuestas

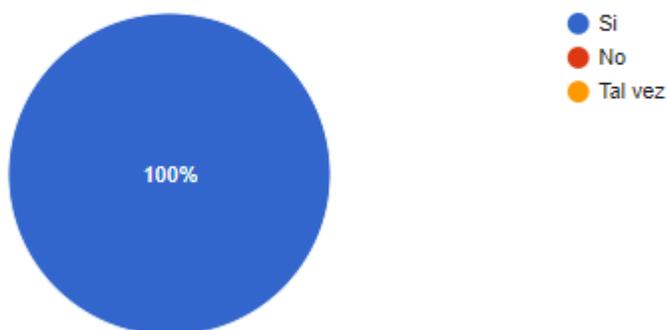


Figura 116 *Pregunta 7, encuesta aplicada a personal de EMCOAAAFOR ESP*
[Autor]



Siendo usted conocedor del proceso de potabilización, ¿Que es lo que mas se le dificulta en el proceso?

6 respuestas

Nada
La falla de algunos equipos de medición especialmente los macro mecromedidores
El mantenimiento de la maquinaria
La poca fiabilidad de los datos obtenidos debido a que se hacen manualmente, y que demora para la entrega y análisis de informes en tiempo real
Comprender el P&ID de la planta
Las turbiedad altas

Figura 117 *Pregunta 8, encuesta aplicada a personal de EMCOAAAFOR ESP*
[Autor]

¿En que le gustaría capacitarse, asesorarse y aprender con respecto a la automatización industrial aplicados a los procesos de potabilización ?

6 respuestas

Manipulación de los equipos
En todo
Equipo para lograr realizar los procesos de la manera mas optima
Manejo de programas e interpretación de resultados
Conexiones remotas
En el mantenimiento del mismo

Figura 118 *Pregunta 9, encuesta aplicada a personal de EMCOAAAFOR ESP*
[Autor]



ANÁLISIS DE LAS ESTADÍSTICAS

Encuestas a personal de EMCOAAAFOR ESP:

1. Es necesario tener una perspectiva medible del conocimiento del personal con respecto al proceso, que se evaluaron de la siguiente forma, Muy bien 50%, bien 16.7%, regular 33.3%, no tengo conocimiento 0%. a pesar de estar implicados en el proceso, no me garantiza que domine el proceso.
2. La encuesta dirigida a la persona específico a operarios y profesionales de la empresa a fin de planificar la propuesta de automatización del proyecto, se obtuvieron 6 respuestas, de las cuales el 100% se considera viable la buena planificación.
3. Al determinar el conocimiento del personal con respecto a la implementación de la propuesta, con respecto a los instrumentos necesarios para llevar a cabo la automatización, se obtuvo lo siguientes. Alto 16.7%, medio 50%, 33,3%, al hacer un análisis se debe tener en cuenta los planes de trabajo incluyendo la formación académica del personal.
4. Cuando se trata de adaptación en la evolución del proceso, se necesita contar con un personal proactivo que desee capacitarse y buscar los medios necesarios, en encuesta se obtiene un 100% de aceptabilidad en hacerlo.
5. Incurrir en el proceso a través de una interfaz gráfica HMI apoyado por el sistema SCADA que sirve para llevar a cabo de una mejor forma el proceso, hay una alta aceptación de 83.3% en el uso de estos dispositivos.
6. Es importante tener en cuenta la normatividad proporcionada por los entes de control, de esta forma se puede cumplir con los parámetros establecidos, el uso de estos elementos aumentaría la probabilidad de ejercer un mejor control y la empresa tiene un 83.3% de aceptabilidad.
7. Contar con un diagrama de bloques bien establecido permite que el personal adquiera mayor conocimiento del proceso donde el 100% de las personas están de acuerdo.



De acuerdo a las respuestas obtenidas con la encuesta realizada se inicia estableciendo el ¿Cómo? De la primera matriz QFD.

Matriz QFD – Servicios

Los ¿Que?

- Mediciones rápidas en campo
- Mayor seguridad
- Fácil adaptación
- Económico
- Evolutivo
- Procesamiento de la información
- Interacción con el proceso
- Dosis óptima
- Facilidad de mantenimiento

Los ¿Cómo?

- Autómatas programables
- Actuadores
- Sensores
- Cableado
- Diseño de diagramas
- Alimentación
- Elementos finales de control
- Interfaz HMI
- Indicadores
- Transmisores

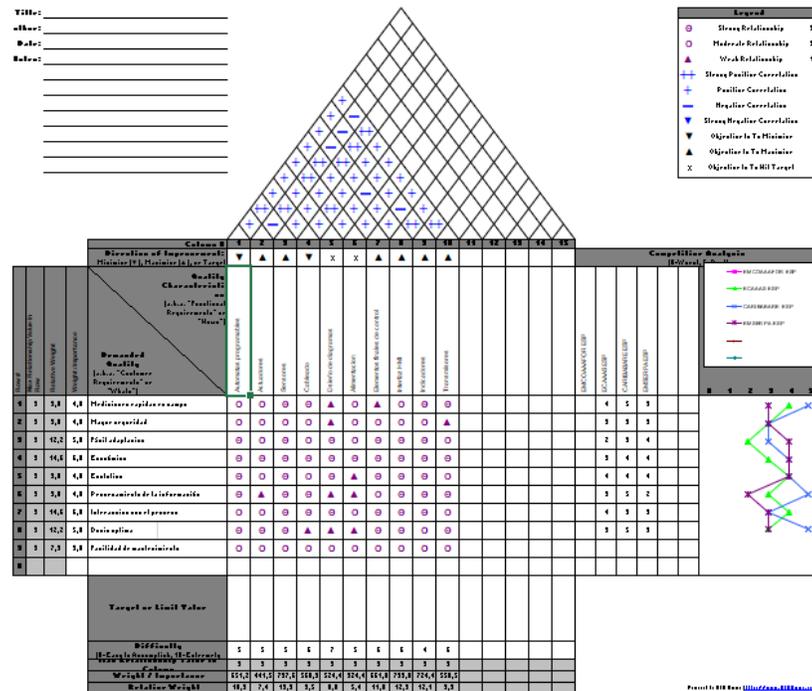


Figura 119 QFD 1, Servicios
 [Autor]

Matriz QFD – Componentes

Los ¿Que?

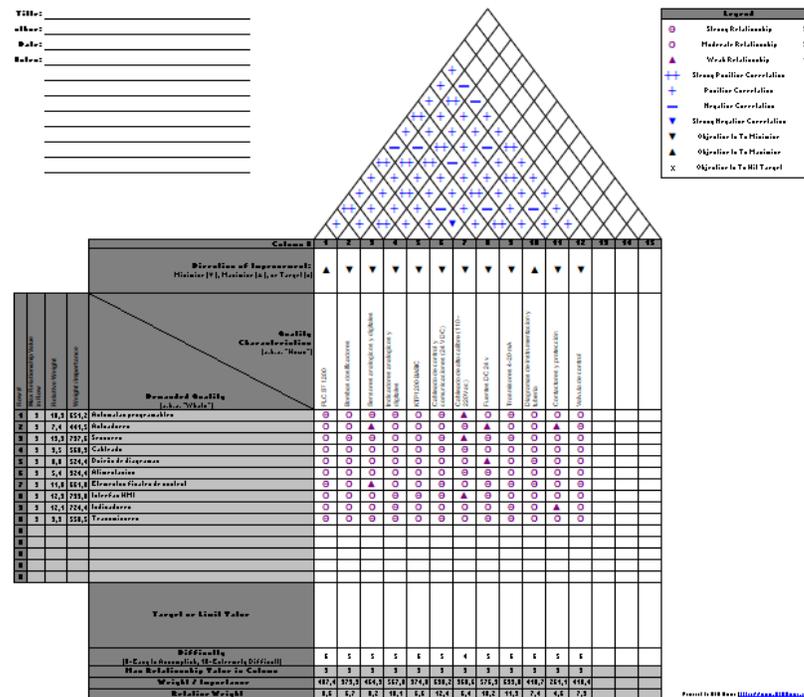
- Autómatas programables
- Actuadores
- Sensores
- Cableado
- Diseño de diagramas
- Alimentación
- Elementos finales de control
- Interfaz HMI
- Indicadores
- Transmisores

Los ¿Cómo?

- PLC S7 – 1200
- Bombas dosificadoras



- Sensores analógicos y digitales
- Indicadores analógicos y digitales
- KTP1200 Basic
- Cableado de control y comunicaciones (24 V DC)
- Cableado de alto calibre (110 - 220V ac)
- Fuentes DC 24 V
- Transmisores 4-20 mA
- Diagramas de instrumentación y tubería
- Contactores y protección
- Válvula de control



Matriz QFD – Procesos

Los ¿Que?

- PLC S7 – 1200
- Bombas dosificadoras



Matriz QFD – Producción

Los ¿Qué?

- Cotización de los instrumentos primarios
- Cotización de los elementos de control
- Cotización de los elementos secundarios
- Diseño de la interfaz en HMI
- Conexiones eléctricas de actuadores

Los ¿Cómo?

- Tía portal V15
- AutoCAD Plant 3D 2020
- Edraw Max
- yEd Graph Editor
- Cmap tools
- CADe simu

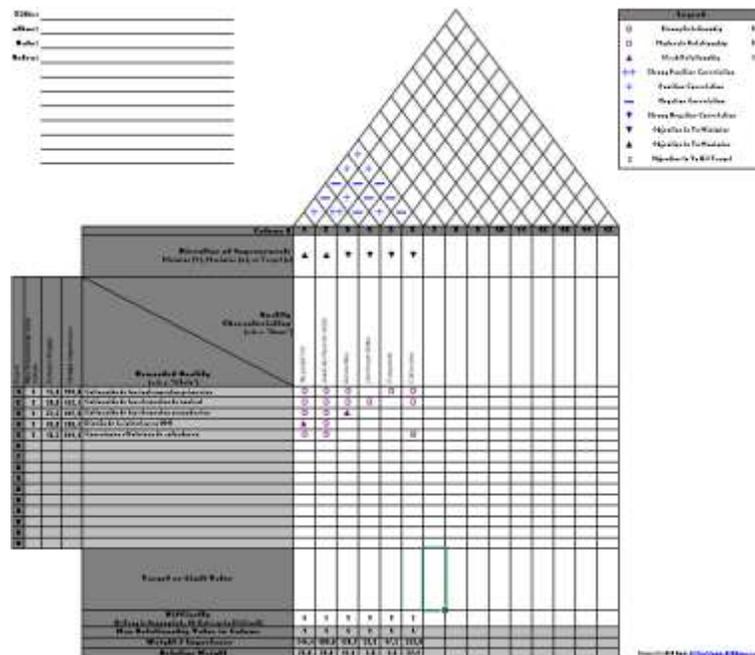


Figura 122 QFD 3, Producción
 [Autor]



5. RESULTADOS

5.1. INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL

La instrumentación industrial requiere de técnicas y de equipos que puedan medir, transmitir o regular de forma automática las magnitudes física y químicas, de esto dependerá el funcionamiento del proceso, la disponibilidad de esta información debe ser precisa y confiable, los sistemas de control incluyen determinados instrumentos que determinan la unidad de medición, unidad de control y elementos finales de control. [37][38]

5.1.1. CLASES DE INSTRUMENTOS

Los instrumentos se clasifican de acuerdo a la función que cumplan en el proceso ya se de control o medición, esto puede ser directa o indirecta.

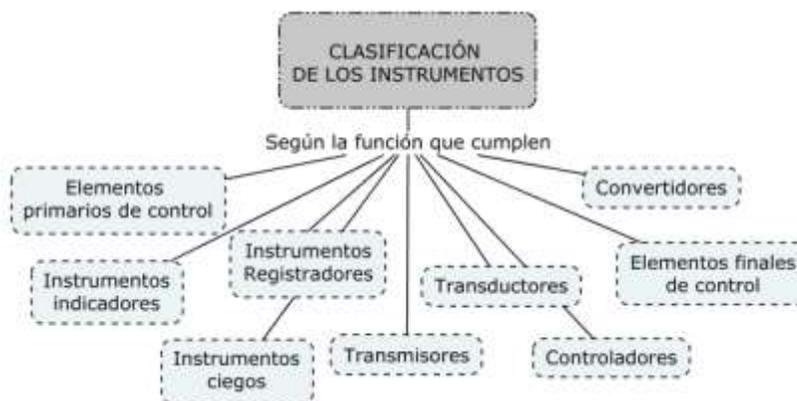


Figura 123 Clasificación de los instrumentos de acuerdo a su función
[Autor] [38]

NORMA ISA S5.1

Los procesos y actividades que se llevan a cabo diariamente por profesionales en la industria requieren parámetros que nos permitan entender fácilmente los diversos procedimientos y tareas, dichas normas o estándares brindan fundamentos específicos en la instrumentación, sistemas de control y automatización dentro de las más conocidas se encuentra la norma ISA S5.1 [38] esta norma tiene por objeto satisfacer los distintos procedimientos de los diversos usuarios que necesitan identificar y simbolizar equipos de medición, control y



sistemas. Esta norma tiene aplicación general, pero su mayor impacto ha sido en la industria de procesos con sus diagramas de instrumentación y tubería (P&ID), una parte de este capítulo contiene un estudio teórico sobre reglas, formas de identificación y simbología gráfica.

Clases de instrumentación según la norma

- Instrumentos primarios
- Instrumentos secundarios
- Instrumentos auxiliares
- Instrumentos de accesorios

5.1.2. DIAGRAMAS DE INSTRUMENTACIÓN Y TUBERÍA P&ID

Los diagramas P&ID por sus siglas en inglés Piping and Instruments Diagram, es el esquema donde se registra toda la instrumentación partiendo de un diagrama de flujo del proceso, esto permite asociar a cada instrumento de medición y control un código o tag llamado comúnmente dentro del software de diseño asistido por computadora, en la figura 124 se observa el diagrama de flujo de potabilización de la PTAP.

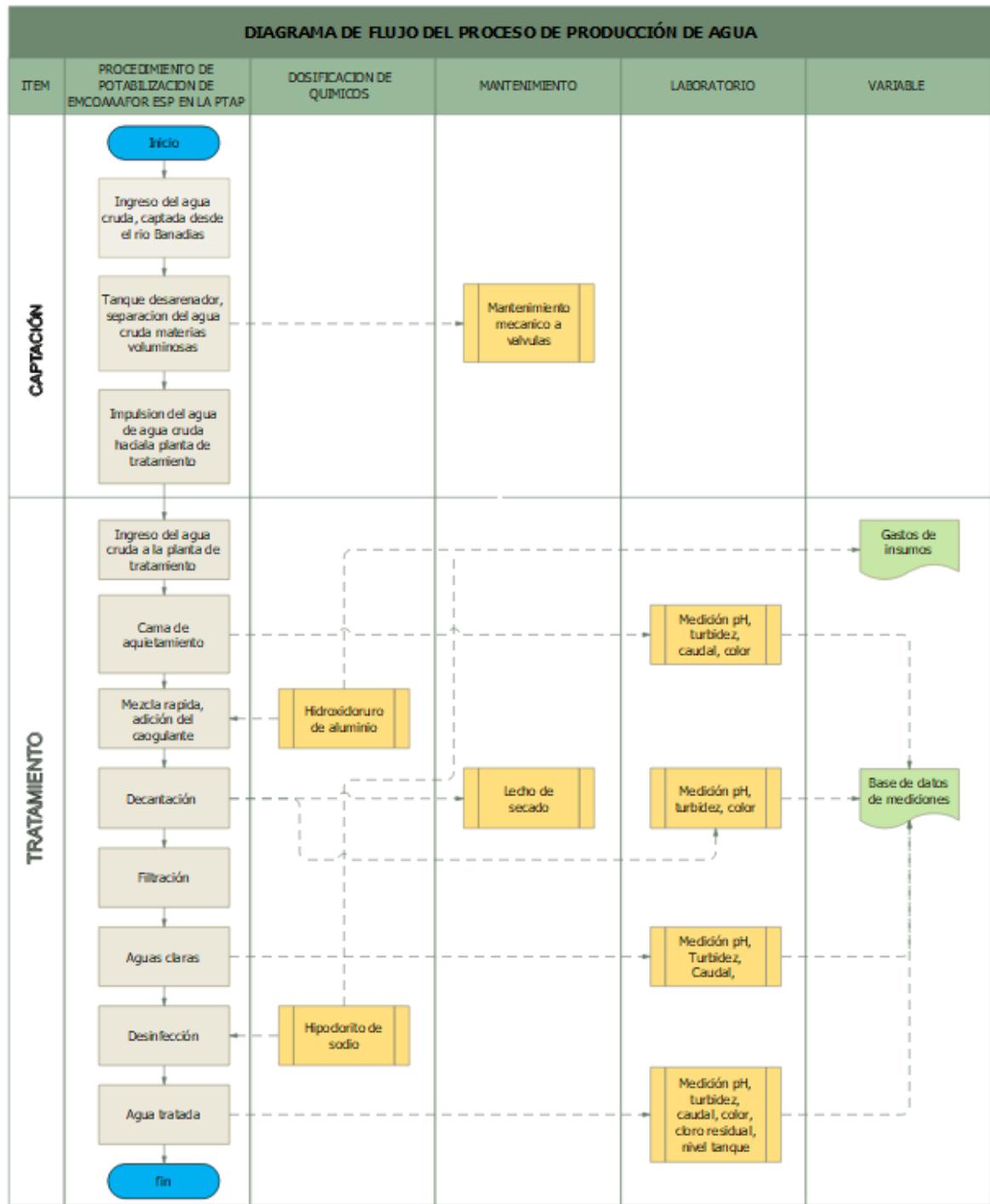


Figura 124 Diagrama de flujo del proceso de potabilización [Autor]



Los sistemas de control de procesos se representan en diagramas de instrumentación y tubería utilizando símbolos normalizados, estos representan, instrumentación, tuberías, bombas, motores, y otros elementos. Los instrumentos del lazo de control se presentan por un círculo con las letras de designación del instrumento, así como el número identificativo del lazo de control al que pertenece.

El diseño del diagrama P&ID se llevado a cabo en el software AutoCAD Plant 3D con licencia para estudiante. Este permite el uso de herramientas específicas de la industria de AutoCAD, permite el diseño de plantas, crear y editar los diagramas y modelamientos 3D y extraer ortografías e isométricos de la tubería de manera más eficiente y precisa.

Para llevar a cabo este plano, se inicia haciendo un levantamiento del plano de la planta, donde se hace un recorrido por la planta junto al operador, este es quien describe el proceso y va dando lugar a la ubicación de cada instrumento y tubería implicado, en la *figura 125*.

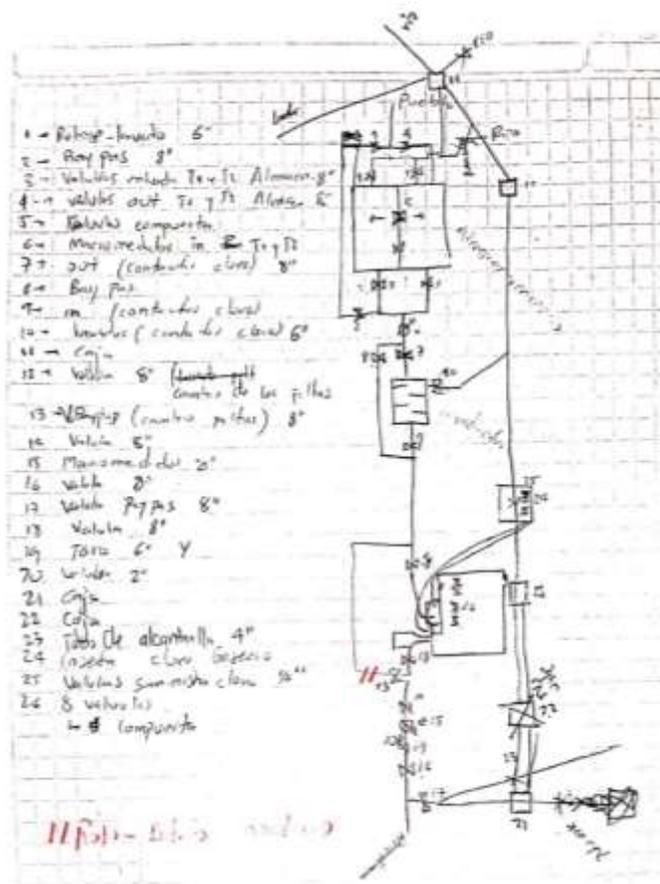




Figura 125 Bosquejo de instrumentación y tubería actual a mano alzada
 [Autor]

A partir del bosquejo se inicia el diseño asistido por computadora de la instrumentación y tubería actual, el cual se observa en la *figura 126*.

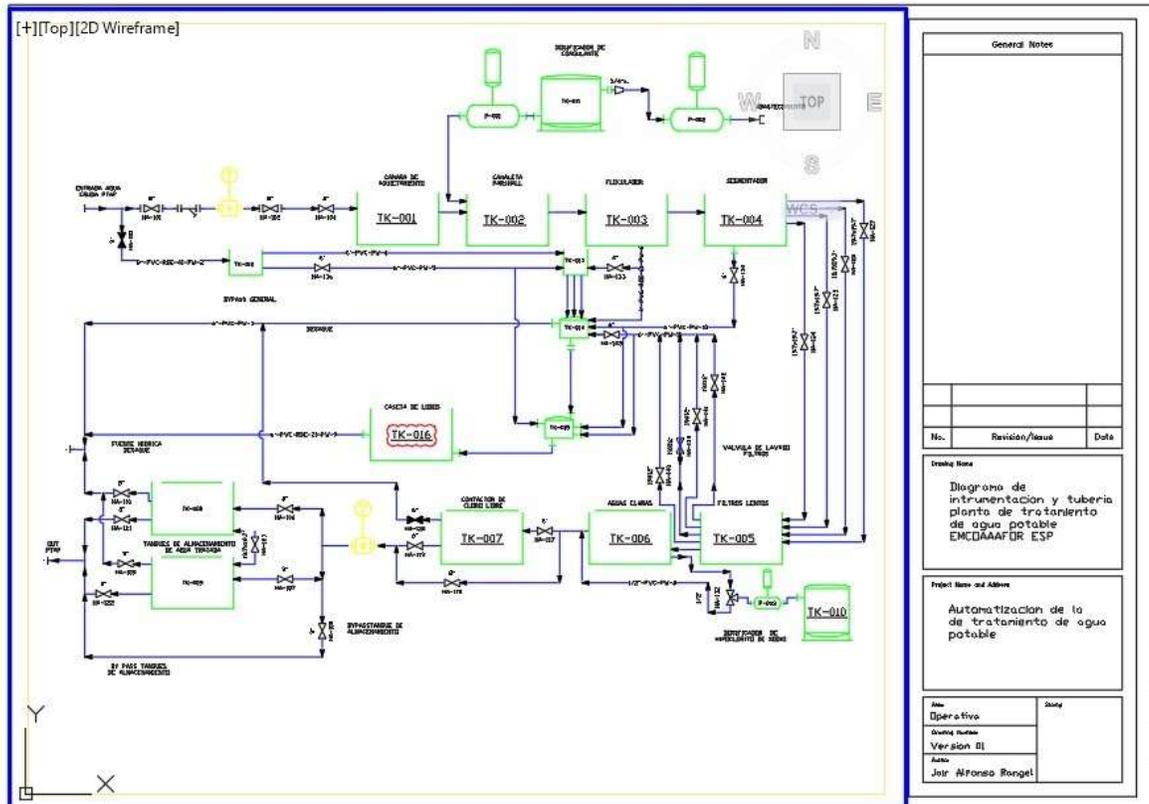


Figura 126 Diagrama de instrumentación y tubería actual
 [Autor]

De acuerdo a la planificación, se continúa con la planificación del P&ID de proyección, partiendo del diagrama de la *figura 127*, es importante resaltar que el plano debe estar sujeto a cambios de ser necesario adaptándose a las condiciones y necesidades de la planta de tratamiento, en la ilustración de la *figura 127* se da a conocer el diagrama de instrumentación y tubería proyectado.

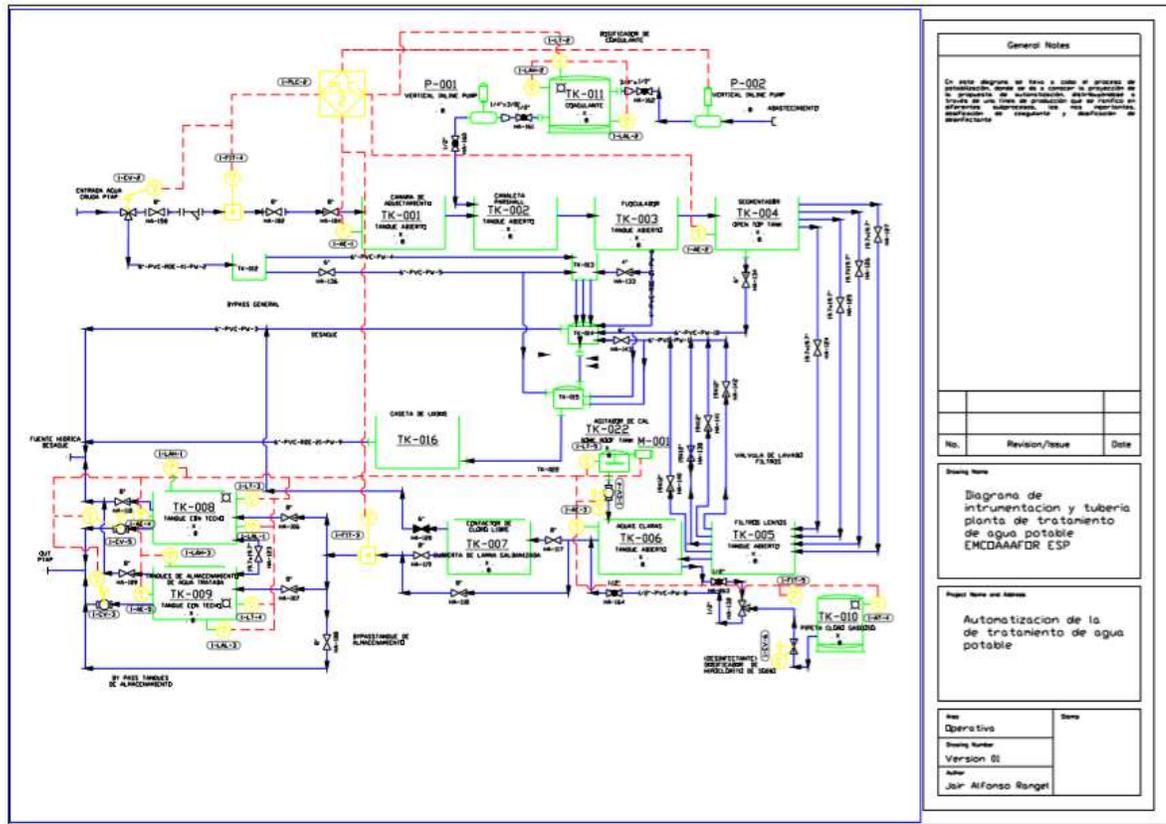


Figura 127 Diagrama de instrumentación y tubería proyectado
 [Autor]

5.2. REQUERIMIENTO DE SEÑALES DE ENTRADA Y SALIDAS

Se definen los requerimientos del sistema, es importante determinar los elementos que lo componen, el tipo y las características, entre ellos encontramos los más relevantes.

- **Señales de entrada:** Estas señales provienen de los instrumentos de medición en campo y pueden ser analógicas de 4 - 20 mA, de 0 – 5 VDC de 0 – 10 VDC y digitales o binarias.
- **Señales de salida:** la señal de salida del autómatas puede llegar a ser salidas a relé, transistor, triac y analógicas.



- **CPU del PLC:** En la unidad central de procesamiento de las señales, estas van en función de las instrucciones del usuario, donde los valores de entrada, permite determinar los valores de salida.
- **Fuente de alimentación:** Cumplen un papel importante ya que la mayor parte de los dispositivos eléctricos trabajan con una alimentación de 24 V DC y estas toman la tensión de red a 110 – 220 a 60 Hz y la convierte.
- **Interfaz:** Son canales de comunicación con el exterior, estos equipos pueden ser usados para la programación, visualización, monitoreo y control.

SEÑALES DE ENTRADA ANALÓGICAS				
Ítem	Elemento	Característica de señal	Tipo de señal	Rango de medición
1	Sensor de flujo 1-FIT-4	4 -20 mA	Analógica	0 – 49 l/s
2	Sensor de flujo 1-FIT-3	4 -20 mA	Analógica	0 – 49 l/s
3	Sensor de pH TK-001	4 -20 mA	Analógica	1- 14
4	Sensor de pH TK-004	4 -20 mA	Analógica	1- 14
5	Sensor de pH TK-006	4 -20 mA	Analógica	1- 14
6	Sensor de pH TK-008	4 -20 mA	Analógica	1- 14
7	Sensor de pH TK-009	4 -20 mA	Analógica	1- 14
8	Sensor de Color TK-001	4 -20 mA	Analógica	0-20
9	Sensor de Color TK-004	4 -20 mA	Analógica	0-20
10	Sensor de Color TK-008	4 -20 mA	Analógica	0-20
11	Sensor de Color TK-009	4 -20 mA	Analógica	0-20
12	Sensor de turbidez TK-001	4 -20 mA	Analógica	0-4000
13	Sensor de turbidez TK-004	4 -20 mA	Analógica	0-4000
14	Sensor de turbidez TK-008	4 -20 mA	Analógica	0-4000
15	Sensor de turbidez TK-009	4 -20 mA	Analógica	0-4000
16	Sensor de temperatura TK-006	4 -20 mA	Analógica	0 – 100 °C
17	Sensor de cloro libre TK-008	4 -20 mA	Analógica	0 – 20
18	Sensor de cloro libre TK-009	4 -20 mA	Analógica	0 – 20
19	Sensor de nivel TK-008	4 -20 mA	Analógica	5 m
20	Sensor de nivel TK-009	4 -20 mA	Analógica	5 m
21	Sensor de nivel TK-011	4 -20 mA	Analógica	5m
22	Sensor de peso TK-010	4 -20 mA	Analógica	500 kg
23	Sensor conductividad TK-001	4 -20 mA	Analógica	0-10000

Tabla 27 Señales analógicas de entrada PTAP



[Autor]

SEÑALES DE ENTRADA DIGITALES			
Ítem	Elemento	Característica de señal	Tipo de señal
1	Activación P-001	24V	Digital
2	Relé térmico P-001	24V	Digital
3	Contactador P-001	24V	Digital
4	Activación P-002	24V	Digital
5	Térmico P-002	24V	Digital
6	Contactador P-002	24V	Digital
7	Activación P-003	24V	Digital
8	Térmico P-003	24V	Digital
9	Contactador P-003	24V	Digital
10	Activación M-001	24V	Digital
11	Térmico M-001	24V	Digital
12	Contactador M-001	24V	Digital

Tabla 28 Señales analógicas de entrada PTAP

[Autor]

SEÑALES DIGITALES DE SALIDA			
Ítem	Elemento	Característica de señal	Tipo de señal
1	P-001	24V	Digital
2	P-002	24V	Digital
3	M-001	24V	Digital
4	1-LAH-2 TK-011	24V	Digital
5	1-LAL-2 TK-011	24V	Digital
6	1-LAL-1 TK-008	24V	Digital
7	1-LAH-1 TK-008	24V	Digital
8	1-LAL-3 TK-009	24V	Digital
9	1-LAH-3 TK-009	24V	Digital

Tabla 29 Señales digitales de salida

[Autor]

SEÑALES ANALÓGICAS DE SALIDA			
Ítem	Elemento	Característica	Tipo de



		de señal	señal
1	1-CV-2	4 -20 mA	Analógica
2	1-CV-6	4 -20 mA	Analógica
3	P-003	4 -20 mA	Analógica

Tabla 30 Señales analógicas de salida
[Autor]

5.3. SELECCIÓN DE INSTRUMENTACIÓN

La selección de los instrumentos de medición, conversión y registro de variables del proceso es una de las etapas más importantes de la propuesta, esta nos permitirá determinar un valor estimado de la inversión a realizar, por lo tanto, se tendrán en cuenta los parámetros necesarios de acuerdo a las necesidades del proceso, a partir del diagnóstico y los criterios de diseño de la matriz QFD se tiene una idea concreta y concisa. Teniendo en cuenta las fichas técnicas y la normatividad correspondiente.

5.3.1. SELECCIÓN DE INSTRUMENTOS PRIMARIOS

De acuerdo los datos obtenidos de la planta de tratamiento de agua potable se determinan los puntos máximos y mínimos de las variables medidas de acuerdo a la temporada de invierno y de verano, estos datos se muestran desde *figura 57* hasta la *figura 70* y los parámetros establecidos por la normatividad según las características físico químicas de la resolución 2115 de 2007 y decreto 1575 de 2007 contempladas en la *tabla 13*, para esto se utilizará el método de ponderación lineal el cual consiste en llevar a cabo análisis de decisiones cuantitativo en el que se comparan diferentes criterios a los cuales se les asigna el grado de importancia de cada una de las alternativas en una escala de 0 a 1 punto de acuerdo a la *tabla 31*, determinando la solución válida. [9]

PESO "CRITERIO"	RELEVANCIA
0.1 y 0.2	Muy poco importante
0.3 y 0.4	Poco importante
0.5 y 0.6	Importancia media
0.7 y 0.8	Algo importante
0.9 y 1.0	Muy importante



Tabla 31 Evaluación de criterios
[9]

También es importante tener en cuenta las alternativas en cada uno de los criterios, con el grado de relevancia que representan para la propuesta.

PESO	RELEVANCIA
1	Irrelevante
2	Muy bajo
3	Bajo
4	Medio - bajo
5	Medio
6	Medio - alto
7	Alto
8	Muy alto
9	Crítico

Tabla 32 Evaluación de alternativas
[Autor]

El modelamiento se observa en la *ecuación 3*

S_j = Puntuación para alternativa.

W_i = Ponderación para cada criterio i .

R_{ij} = Valoración o calificación de la alternativa j en función del criterio i .

$$S_j = \sum_{i=1}^n W_i * R_{ij}$$

Ecuación 3 Método lineal
[9]

Según la *figura 56* y la *tabla 22* se determinan los puntos de medición de las variables.

5.3.1.1. Alternativas para medición de pH



CARACTERÍSTICAS	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2
Instrumento	 Figura 128 Sensor pH TS 320F [Autor]	 Figura 129 Sensor pH RMD-H800 [Autor]
Marca	TECMES	RECUERDA
Rango de medición	0 - 14	2 - 16
Precisión	+/- 0.01 Fe	+/- 0.01
Resistencia a la intemperie	Si	Si
Señal de salida	4 – 20 mA	4 – 20 mA
Alimentación	12 VDC	24 VDC
Material	Acero inoxidable	ABS
Sumergible	10 m	-
Precio	\$ 970.000 COP	\$ 745.400 COP

Tabla 33 Alternativas para medición de pH
 [Autor]

5.3.1.2. Alternativas para medición de oxígeno disuelto

CARACTERÍSTICAS	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2
Instrumento	 Figura 130 Sensor oxígeno disuelto TECMES [Autor]	 Figura 131 Sensor oxígeno disuelto RMD-0800



		[Autor]
Marca	TECMES	RECUERDA
Rango de medición	0 – 200 %	0.00 - 40.00 mg/L
Precisión	+/- 2 % FE	+/- 0.2%
Resistencia a la intemperie	si	IP68
Señal de salida	4 – 20 mA	4-20 mA
Alimentación	12 VDC	24VDC
Material	Polipropileno	ABS
Sumergible	Si	Si
Precio	\$ 890.000 COP	\$2.217.600 COP

Tabla 34 Alternativas para medición de oxígeno disuelto
 [Autor]

5.3.1.3. Alternativas para medición de turbidez

CARACTERÍSTICAS	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2
Instrumento	 Figura 132 Sensor turbidez TECMES [Autor]	 Figura 133 Sensor turbidez [Autor]
Marca	Endress + Hauser	Recuerda
Rango de medición	0 – 4000 NTU	0 – 4000 NTU
Precisión	0.01 FNU	0.05 FNU
Resistencia a la intemperie	Si	IP 68
Señal de salida	4 -20 mA	4 -20 mA – RS 485
Alimentación	24 VDC	24 VDC
Material	Acero inoxidable	Acero inoxidable



Sumergible	Si	5 m
Precio	\$ 1.365.000 COP	\$1.850.000

Tabla 35 Alternativas para medición de turbidez

[Autor]

5.3.1.4. Alternativas para medición de conductividad

CARACTERÍSTICAS	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2
Instrumento	 Figura 134 Sensor TS 330 [Autor]	 Figura 135 Sensor RMD-CB001 [Autor]
Marca	TECMES	REMOND - RMD-CB001
Rango de medición	0-100; 0-1000; 0-10.000; 0-100.000 S/cm	0 – 20 uS/cm
Precisión	+/- 1 % F.E.	-
Resistencia a la intemperie	Si	Si
Señal de salida	4 – 20 mA	4 – 20 mA
Alimentación	12 VDC	24 VDC
Material	Acero inoxidable AISI 316	Acero inoxidable
Sumergible	20 m	5 m
Precio	\$ 990.000 COP	\$ 635.000 COP

Tabla 36 Alternativas para medición de conductividad

[Autor]

5.3.1.5. Alternativas para medición de cloro residual

CARACTERÍSTICAS	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2
-----------------	---------------	---------------

Instrumento	 <p>Figura 136 Sensor Cloro residual [Autor]</p>	 <p>Figura 137 Sensor Cloro residual RMD-Y800 [Autor]</p>
Marca	REMOND	RECUERDA
Rango de medición	0 - 20 mg/L	0 - 20 mg/L
Precisión	+/- 0.005	+/- 0.02
Resistencia a la intemperie	No	IP 65
Señal de salida	4 -20 mA / RS 485	4 -20 mA – RS 485
Alimentación	120 – 220 VAC	24 VDC
Material	Plástico	Plástico
Sumergible	Si	Si
Precio	\$ 1.490.800 COP	\$2.217.600 COP

Tabla 37 Alternativas para medición de cloro libre
[Autor]

5.3.1.6. Alternativas para medición de color

CARACTERÍSTICAS	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2
-----------------	---------------	---------------

Instrumento	 <p>Figura 138 Sensor color 45CLR [Autor]</p>	 <p>Figura 139 Sensor color CRT 448.S3/444-M12 [Autor]</p>
Marca	Allen - Bradley	Lause electronic
Rango de medición	12 mm – 32 mm	12 mm – 32 mm
Precisión	-	-
Resistencia a la intemperie	IP 67	IP 67
Señal de salida	4 – 20 -mA	4 – 20 -mA
Alimentación	24 V DC	24 V DC
Material	Plástico ABS	Plástico ABS
Sumergible	30 minutos	30 minutos
Precio	\$ 1.657.000 COP	\$1.800.000 COP

Tabla 38 Alternativas para medición de color
[Autor]

5.3.1.7. Alternativas para medición de temperatura

CARACTERÍSTICAS	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2
-----------------	---------------	---------------



Instrumento	 Figura 140 Sensor PT100 [Autor]	 Figura 141 Sensor de temperatura RLT-3000 [Autor]
Marca	PCE Instruments	WIKA
Rango de medición	-50 / +400°C	0 / +100°C
Precisión	Clase A	Clase B
Resistencia a la intemperie	IP 54	IP 66
Señal de salida	4 – 20 mA	4 – 20 mA
Alimentación	24 VDC	24 VDC
Material	Platino, acero inoxidable	Acero inoxidable
Sumergible	No	No
Precio	\$ 765.000 COP	957.000 COP

Tabla 39 Alternativas para medición de temperatura
[Autor]

5.3.1.8. Alternativas para medición de nivel de fluido

CARACTERÍSTICAS	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2
Instrumento	 Figura 142 Sensor de nivel LMP633-NLN	 Figura 143 Sensor de nivel WNK8010



	[Autor]	[Autor]
Marca	LEEG	WNK
Rango de medición	-	0 – 2000 m
Precisión	0.2% y 0.5%	0.02 FS 0.05
Resistencia a la intemperie	IP 68	IP 68
Señal de salida	4- 20 mA / RS 485	4 – 20 mA – RS 485
Alimentación	24 VDC	24 VDC
Material	Acero inoxidable 316	-
Sumergible	Si	Si
Precio	\$ 615.000 COP	\$ 210.000 COP

Tabla 40 Alternativas para medición nivel de fluido
[Autor]

Evaluación de alternativas

Se procede a determinar de forma cuantitativa cuales de estas alternativas cumplen los requerimientos del sistema.

Criterios de evaluación de alternativas

Las alternativas consideradas son las siguientes:

- Rango de medición
- Precisión
- Resistencia a la intemperie
- Señal de salida
- Precio

Para obtener una mejor alternativa se la asigna a cada criterio un valor de peso entre 0 y 1, según la importancia que representa, cuando el criterio tiende a 1 tiene mayor peso con respecto a los demás criterios con menor valor.

CRITERIO	PESO
Rango de medición	0,9
Precisión	0,8



Resistencia a la intemperie	0,4
Señal de salida	0,6
Precio	0,5

Tabla 41 Escala de ponderación
[Autor]

Para esta propuesta es importante y necesario realizar un análisis minucioso para el sistema de instrumentación.

Ponderación alternativas sensor de pH

CRITERIO	PESO	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2
Rango de medición	0,9	7	6
Precisión	0,8	6	6
Resistencia a la intemperie	0,4	8	8
Señal de salida	0,6	6	6
Precio	0,5	4	7
Sumatoria		31	33

Tabla 42 Ponderación alternativa sensor de pH
[Autor]

Ponderación alternativas sensor de oxígeno disuelto

CRITERIO	PESO	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2
Rango de medición	0,9	6	7
Precisión	0,8	8	8
Resistencia a la intemperie	0,4	6	7
Señal de salida	0,6	5	5
Precio	0,5	5	4
Sumatoria		28	31

Tabla 43 Ponderación alternativa sensor de oxígeno disuelto
[Autor]

Ponderación alternativas sensor de turbidez



CRITERIO	PESO	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2
Rango de medición	0,9	7	7
Precisión	0,8	8	7
Resistencia a la intemperie	0,4	6	6
Señal de salida	0,6	6	9
Precio	0,5	7	6
Sumatoria		34	37

Tabla 44 Ponderación alternativa sensor de oxígeno disuelto
[Autor]

Ponderación alternativas sensor de conductividad

CRITERIO	PESO	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2
Rango de medición	0,9	6	8
Precisión	0,8	7	3
Resistencia a la intemperie	0,4	6	6
Señal de salida	0,6	5	5
Precio	0,5	5	7
Sumatoria		29	30

Tabla 45 Ponderación alternativa sensor de conductividad
[Autor]

Ponderación alternativas sensor de cloro libre

CRITERIO	PESO	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2
Rango de medición	0,9	8	8
Precisión	0,8	7	8
Resistencia a la intemperie	0,4	3	7
Señal de salida	0,6	6	6
Precio	0,5	5	4
Sumatoria		29	33

Tabla 46 Ponderación alternativa sensor de cloro libre



[Autor]

Ponderación alternativas sensor de color

CRITERIO	PESO	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2
Rango de medición	0,9	4	5
Precisión	0,8	6	7
Resistencia a la intemperie	0,4	2	2
Señal de salida	0,6	4	4
Precio	0,5	6	4
Sumatoria		21	22

Tabla 47 Ponderación alternativa sensor de color

[Autor]

Ponderación alternativas sensor de temperatura

CRITERIO	PESO	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2
Rango de medición	0,9	6	7
Precisión	0,8	6	6
Resistencia a la intemperie	0,4	3	3
Señal de salida	0,6	7	7
Precio	0,5	6	4
Sumatoria		28	27

Tabla 48 Ponderación alternativa sensor de color

[Autor]

Ponderación alternativas sensor de nivel

CRITERIO	PESO	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2
Rango de medición	0,9	3	7
Precisión	0,8	5	5
Resistencia a la intemperie	0,4	8	8
Señal de salida	0,6	6	6
Precio	0,5	5	6



Sumatoria		27	32
-----------	--	----	----

Tabla 49 Ponderación alternativa sensor de color
 [Autor]

Instrumentos primarios seleccionados

Criterio	Rango de medición	Precisión	Resistencia a la intemperie	Señal de salida	Precio	Sumatoria
Peso de los criterios	0,9	0,8	0,4	0,6	0,5	-
Sensor pH	6	6	8	6	7	33
Sensor oxígeno disuelto	7	8	7	5	4	31
Sensor de turbidez	7	7	6	9	6	37
Sensor de conductividad	8	3	6	5	7	30
Sensor de cloro libre	8	8	7	6	4	33
Sensor de color	5	7	2	4	4	22
Sensor de temperatura	6	6	3	7	6	28
Sensor de nivel	7	5	8	6	6	32

Tabla 50 Instrumentos primarios seleccionados
 [Autor]

5.3.2. SELECCIÓN DE INSTRUMENTOS FINALES DE CONTROL

5.3.2.1. dosificador de coagulante

A. Selección de bomba de diafragma dosificadora

Como referencia se toman 1 marca de acuerdo a nuestras necesidades del proceso y requerimientos del sistema, para ello se usan la marca de Seko.

CARACTERÍSTICAS	ALTERNATIVA 1 APG803
Instrumento	



	 Figura 144 Bomba APG803 [Autor]
Marca	TEKNA EVO
Caudal	25 L/h
Frecuencia	300 imp/min
Capacidad	1,39 cc/imp
Señal de salida	4 -20 mA
Alimentación	100 -220 VAC 50 Hz
Protección	IP 65
Precio	\$1.805.000 COP

Tabla 51 Características instrumento dosificador de coagulante
[Autor]

B. Criterios de selección

- Facilidad de uso
- Costo de la bomba
- Capacidad de ajuste a los requerimientos
- Simplicidad de operación.

C. Evaluación de alternativas

CRITERIO	PESO	ALTERNATIVA 1 TEKNA EVO APG603NHP
Facilidad de uso	0,4	9
Costo de bomba	0,7	7
Capacidad de ajuste a los requerimientos	0,8	9
Simplicidad de operación	0,6	8



Sumatoria		33
-----------	--	-----------

Tabla 52 Evaluación de alternativas dosificador de coagulante
 [Autor]

5.3.2.2. Dosificador de cloro gaseoso

A. Selección de bomba inyectora de gas

Como referencia se toman 1 marca de acuerdo a las necesidades del proceso y requerimientos del sistema, para ello se usa la marca de REGAL.

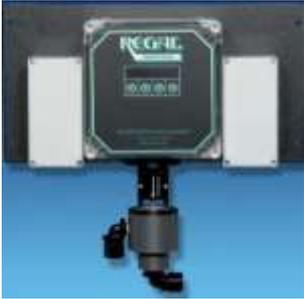
CARACTERÍSTICAS	ALTERNATIVA 1
Instrumento	 <p>Figura 145 Válvula REGAL Serie 7000 [Autor]</p>
Referencia	Serie 7000
Señal Output	4 -20 mA DC, 12 V, 600 ohm
Pantalla:	PLED 20 renglones
Dosificación	10 – 2000 PPD, gr/h, kg/h
Curva de linealización variable	2,5,6,11 o 15 puntos
Impedancia Input	250 ohm
Modo operación	automático, eléctrico manual, manual
Alimentación	120 /240 VAC 50/60 Hz
Precio	\$ 1.800.000

Tabla 53 Características instrumento dosificador de cloro gaseoso



[Autor]

B. Criterio de selección

- Facilidad de uso
- Costo de la bomba
- Capacidad de ajuste a los requerimientos
- Simplicidad de operación.

C. Evaluación de alternativas

CRITERIO	PESO	ALTERNATIVA 1 VÁLVULA REGAL SERIE 7000
Facilidad de uso	0,4	7
Costo de bomba	0,7	7
Capacidad de ajuste a los requerimientos	0,8	9
Simplicidad de operación	0,6	9
Sumatoria		32

Tabla 54 Evaluación de alternativas dosificador de coagulante
[Autor]

D. Alternativa seleccionada

Las señales de entrada y de salida del instrumento se ilustra en la *figura 146*.

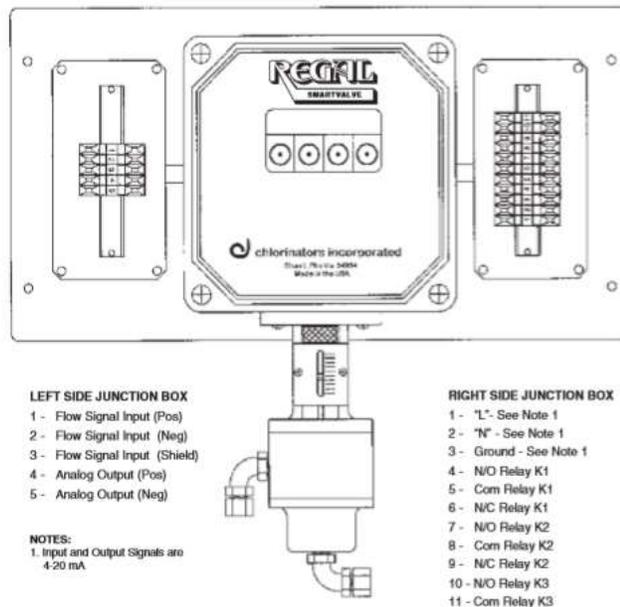


Figura 146 Señales de entrada y salida de la Válvula REGAL Serie 7000 [44]

El ajuste de la dosis se utiliza para establecer o modificar la relación entre la tasa de flujo de gas químico con respecto a la variable el proceso y la calidad del agua [44]. En la ilustración de la *figura 147* dibujo típico de instalación de un sistema control proporcional del flujo, alimentación hacia adelante o bucle abierto.

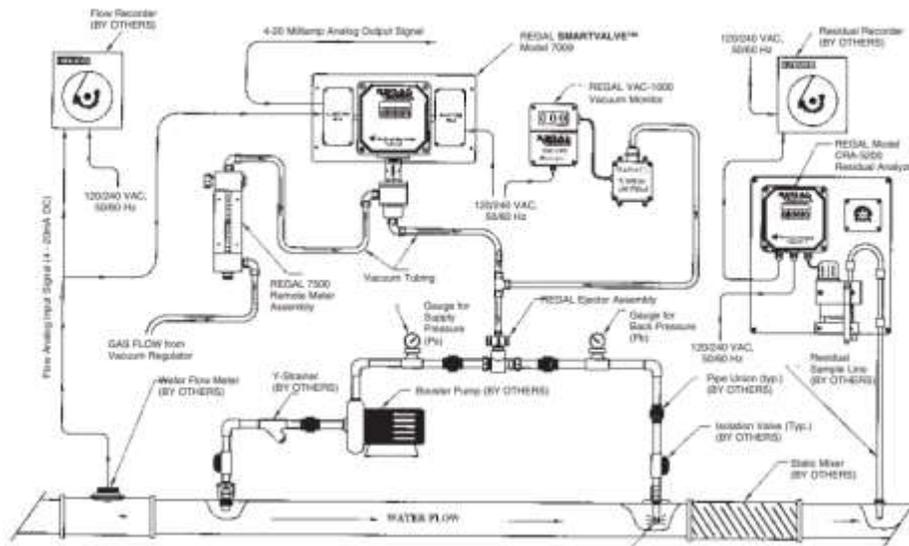


Figura 147 Control proporcional del flujo Válvula REGAL Serie 7000

[44]

5.3.2.3. Elementos de protección y cableado

Teniendo en cuenta cada actuador requiere un tipo de protección las características generales se dan a conocer a continuación:

RELÉ TÉRMICO	
CARACTERÍSTICAS	P-001, P-002, P-003, M-001
Relé térmico	 <p>Figura 148 Relé de sobrecarga Siemens 3RU2126-4AB0 [48]</p>
Marca	Siemens
Corriente nominal	11 – 16 A
Polos	Tripolar
Tensión nominal	690 VAC
Contactos auxiliares	2
Estados	95 – 96 NA / 97 – 98 NC
Potencia nominal	7.5 KW
Temperatura funcionamiento	-40°C / +70°C



Método de reinicio	Manual / Automático
Precio	\$ 305.000 COP

Tabla 55 Características de relé térmico
 [Autor]

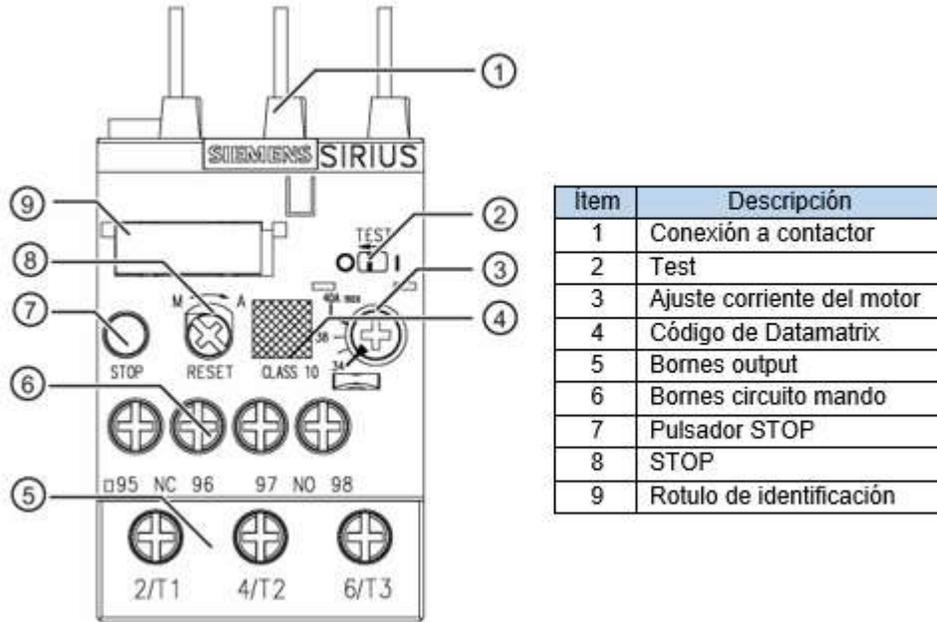


Figura 149 Equipamiento relé de sobrecarga Siemens 3RU2126-4AB0
 [49]

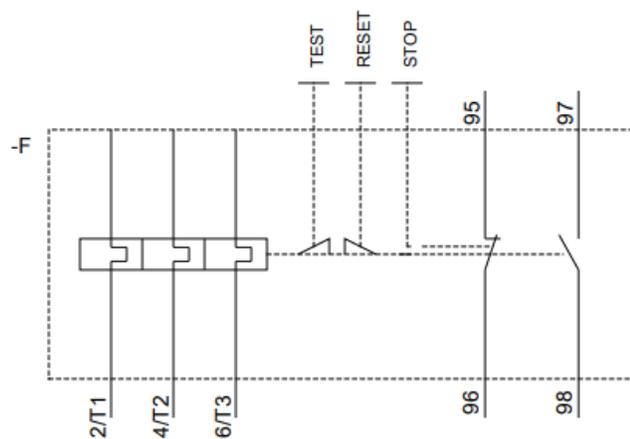


Figura 150 Diagrama de contactos del relé de sobrecarga Siemens 3RU2126-4AB0
 [48]



CONTACTOR	
CARACTERÍSTICAS	P-001, P-002, P-003, M-001
Contactor	 <p>Figura 151 Contactor Siemens 3RT2025-1BB40 [50]</p>
Marca	Siemens
Tensión de la bobina	24 VDC
Corriente nominal	16A
Polos	3
Tensión nominal	690 VAC
Contactos auxiliares	2
Estados	3 NA
Potencia nominal	7.5 KW
Temperatura funcionamiento	-25°C / + 60°C
Precio	\$ 540.000 COP

Tabla 56 Características de contactor 3RT2025-1BB40 [Autor]

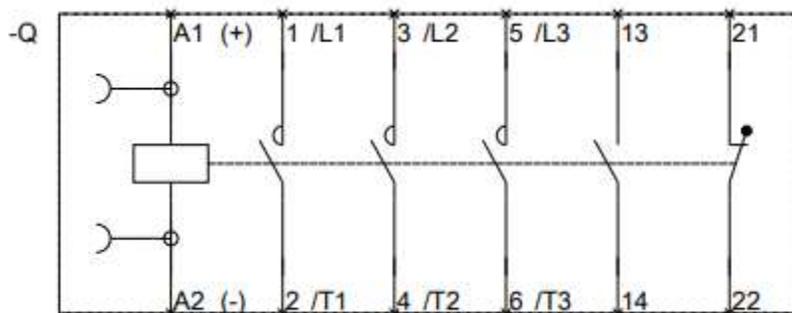


Figura 152 Diagrama de contactos del contactor Siemens 3RT2025-1BB40 [50]

Es importante tener en cuenta las caídas de tensión presentes en la línea de transmisión de la energía eléctrica a cada instrumento, la distancia se vuelve directamente proporcional al calibre del cable desnudo

60 METROS	
CARACTERÍSTICAS	P-001, P-002, P-003, M-001
REQUERIMIENTO	
Tipo de corriente	Alterna trifásica
Tensión	120 V AC
Carga	4 KW
Factor de potencia	0.8
Longitud	60 m
Máxima caída de tensión	4%
Tipo de instalación	En canaleta, sobre más cables o en el suelo
Temperatura ambiente	26°C - 30°C
Conductor	Cobre
Temperatura nominal del conductor	75°C
Tipos	RHW, THHW, THW, THWN, XHHW, USE, ZW
CALCULADO	
Calibre	8 AWG
Intensidad	8.5 mm ²
Ampacidad	50A
Caída de tensión	2.99 %
Tensión con carga	116.4 V



Precio	\$ 420.000 COP/100 m
--------	----------------------

Tabla 57 Características del calibre del cable en corriente alterna bajo estándar NEC
 [Autor]

40 METROS	
CARACTERÍSTICAS	P-001, P002, P-003, M-001
REQUERIMIENTO	
Tipo de corriente	Alterna trifásica
Tensión	120 V AC
Carga	4 KW
Factor de potencia	0.8
Longitud	60 m
Máxima caída de tensión	4%
Tipo de instalación	En canaleta, sobre más cables o en el suelo
Temperatura ambiente	26°C - 30°C
Conductor	Cobre
Temperatura nominal del conductor	75°C
Tipos	RHW, THHW, THW, THWN, XHHW, USE, ZW
CALCULADO	
Calibre	8 AWG - 8.4 mm ²
Intensidad de carga	24.1 A
Ampacidad	50 A
Caída de tensión	2.99 %
Tensión con carga	116.4 V
Precio	

Tabla 58 Características del calibre del cable en corriente alterna bajo estándar NEC
 [Autor]

10 METROS	
CARACTERÍSTICAS	P-001, P002, P-003, M-001
REQUERIMIENTO	
Tipo de corriente	Continua
Tensión	24 V AC



Carga	600W
Factor de potencia	0.8
Longitud	10 m
Máxima caída de tensión	4%
Tipo de instalación	En canaleta, sobre más cables o en el suelo
Temperatura ambiente	26°C - 30°C
Conductor	Cobre
Temperatura nominal del conductor	75°C
Tipos	RHW, THHW, THW, THWN, XHHW, USE, ZW
CALCULADO	
Calibre	6 AWG - 13.3 mm ²
Intensidad de carga	25 A
Ampacidad	65 A
Caída de tensión	3.35 %
Tensión con carga	23.2 V
Precio	

Tabla 59 Características del calibre del cable en corriente alterna bajo estándar NEC
[Autor]

5.3.2.4. Válvulas de control

A. Selección de válvula de control tres vías dos posiciones

Como referencia se toman 1 marca de acuerdo a la necesidad del proceso y requerimientos del sistema, para ello se usa la marca FOLS.

CARACTERÍSTICAS	ALTERNATIVA 1
Instrumento	



	Figura 153 Válvula de control, válvula 3/2 vías [51]
Referencia	FLQ944F / H-16P
Señal Input	4 -20 mA
Señal Output	4 -20 mA
Par de salida	2500 Nm
Angulo de rotación	0° - 90°
Potencia del motor	120 W/F
Tiempo de viaje nominal	100 s
Protección	IP 65 - IP 67
Alimentación	120 /240 VAC 50/60 Hz o 24V DC
Precio	\$ 1.250.000 COP

Tabla 60 Características instrumento de control, válvula 3/2 vías [Autor]

B. Criterios de selección

- Facilidad de uso
- Costo de la válvula
- Capacidad de ajuste a los requerimientos
- Simplicidad de operación.

C. Evaluación de alternativas

CRITERIO	PESO	ALTERNATIVA 1 VÁLVULA REGAL SERIE 7000
Facilidad de uso	0,4	7
Costo de válvula	0,7	6
Capacidad de ajuste a los requerimientos	0,8	9
Simplicidad de operación	0,6	6
Sumatoria		28



Tabla 61 Evaluación de alternativas válvula de bola 3/2 vías
 [Autor]

D. Alternativa de selección

Esta válvula de control permite determinar la dirección del flujo de acuerdo a la posición que tome, haciendo parte del lazo de control cerrado con realimentación, se determinan parámetros importantes. El esquema de dimensiones de la válvula se ilustra en la *figura 154*.

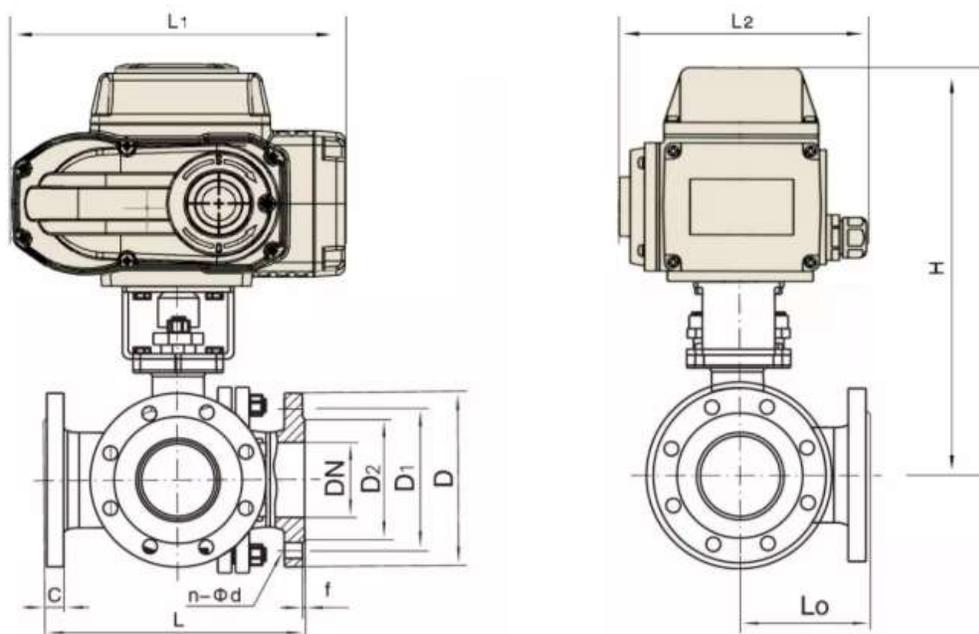


Figura 154 Esquemas de válvula de bola 3/2 vías
 [51]

DN (mm)	In	L	LO	L1	L2	H	D	D1	D2	C	f	n-ød	Electric Actuator
200	8	550	260	309	177	648	340	295	266	24	3	8 -22	FOSD-400

Tabla 62 Dimensiones de válvula de bola 3/2 vías
 [Autor]

A. Selección de válvula de bola de control tipo V

Como referencia se toman 1 marca de acuerdo a la necesidad del proceso y requerimientos del sistema, para ello se usa la marca FOLS.



CARACTERÍSTICAS	ALTERNATIVA 1
Instrumento	 <p>Figura 155 Válvula de bola control tipo V [51]</p>
Referencia	FLQ940F
Marca	FOLS
Señal Input	4 -20 mA, 0-10 V, 1-5 V
Señal Output	4 -20 mA
Par de salida	2500 Nm
Angulo de rotación	0° - 90°
Corriente nominal	2 A
Corriente de arranque	2.3 A
Potencia del motor	120 W/F
Tiempo de viaje nominal	100 s
Protección	IP 65 - IP 67
Alimentación	120 /240 VAC 50/60 Hz o 24V DC
Protocolo de comunicación	PROFIBUS, MODBUS
Tipo de control	ON - OFF
	Regulación
	Operación archivada
Precio	\$ 1.800.000 COP

Tabla 63 Características instrumento de control, válvula tipo V [Autor]



B. Criterios de selección

- Facilidad de uso
- Costo de la válvula con actuador eléctrico
- Capacidad de ajuste a los requerimientos
- Simplicidad de operación.

C. Evaluación de alternativas

CRITERIO	PESO	ALTERNATIVA 1 VÁLVULA REGAL SERIE 7000
Facilidad de uso	0,4	7
Costo de válvula con actuador eléctrico	0,7	7
Capacidad de ajuste a los requerimientos	0,8	9
Simplicidad de operación	0,6	6
Sumatoria		29

Tabla 64 Evaluación de alternativas válvula de bola
[Autor]

D. Alternativas de selección

Las válvulas de control permiten el control de caudal, haciendo parte del lazo de control, con la realimentación, se determinan parámetros importantes. El esquema de dimensiones de la válvula se ilustra en la *figura 156*.

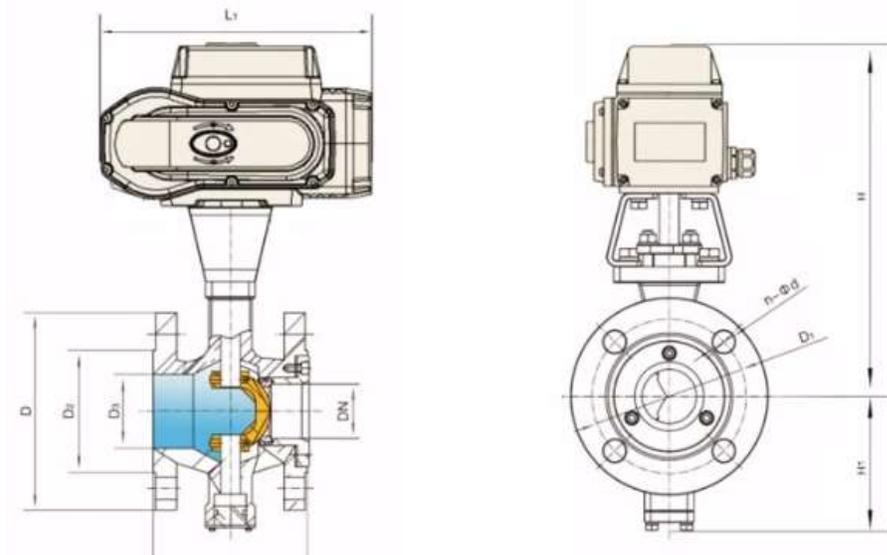


Figura 156 Esquemas de válvula de bola tipo V
 [52]

DN (mm)	In	L	L1	H	H1	D	D1	D2	D3	C	f	n-od	Electric Actuator
200	8	243	309	509	195	340	295	266	210	24	3	12 -22	FOSD-250

Tabla 65 Dimensiones de válvula de bola tipo V

5.3.3. SELECCIÓN DEL PLC Y SU ARQUITECTURA

A. Selección de PLC

Como referencia se toman 2 marcas de acuerdo a nuestras necesidades del proceso y requerimientos del sistema, para ello se usan las marcas de Siemens y Allen Bradley.

- **Alternativa 1 PLC S7-1200:** Es un controlador lógico programable de marca Siemens, cumple tareas de control exigentes, tiene un diseño escalable y flexible y se caracteriza por su interfaz PROFINET integrada, que le permite la comunicación para la programación, conexión HMI.
- **Alternativa 2 Micrologix 1200:** Es un controlador lógico programable de marca Allen Bradley, puede construir sistemas de control más grandes,



lograr una mayor flexibilidad de aplicación logrando expandir su sistema. Contiene puerto combinado RS.232 / RS 485 aislado para comunicación en serie y en red.

B. Criterios de selección

- Facilidad de uso
- Costo de licencias
- Capacidad de ajuste a los requerimientos
- Simplicidad de operación.

C. Evaluación de alternativas

CRITERIO	PESO	ALTERNATIVA 1 S7-1200	ALTERNATIVA 2 MICROLOGIX 1200
Facilidad de uso	0,4	7	6
Costo de licencias	0,5	3	3
Capacidad de ajuste a los requerimientos	0,8	9	9
Simplicidad de operación	0,6	8	7
Sumatoria		27	25

Tabla 66 Evaluación de alternativas PLC
[Autor]

D. Alternativa seleccionada

La serie SIMATIC S7 1200 es una gama de autómatas de la marca siemens, Estos PLC, tiene una alta capacidad de procesamiento con cálculo de 64 bits, esta serie dispone de 5 tipos de CPU diferentes:

GRUPO	ENTRADAS DIGITALES	SALIDAS DIGITALES	ENTRADAS ANALÓGICAS	SALIDAS ANALÓGICAS	SIGNAL BOARD	MÓDULOS ADICIONALES
1211C	16	4	2	0	Si	0
1212C	8	6	2	0	Si	2
1214C	14	10	2	0	Si	8
1215C	14	10	2	2	Si	8
1217C	14	10	2	2	Si	8



Tabla 67 Diferencia entre CPU
[Autor]

Todas las CPU a excepción de la CPU 1211C, se pueden agregar módulos, ampliando las entradas y salidas digitales y analógicas, además de adicionar los módulos de comunicación.

La CPU utilizada en este proyecto es la CPU 1214C, este PLC tiene tres versiones diferentes:

- DC/DC/DC: Se alimenta con 24V corriente continua y las salidas proporciona corriente continua.
- DC/DC/Rly: Se alimenta con 24V corriente continua, salida es tipo relé, por lo que soporta corriente alterna y continua.
- AC/DC/Rly: Se alimenta 110 V - 220 V corriente alterna, salida es tipo relé, por lo que soporta corriente alterna y continua.

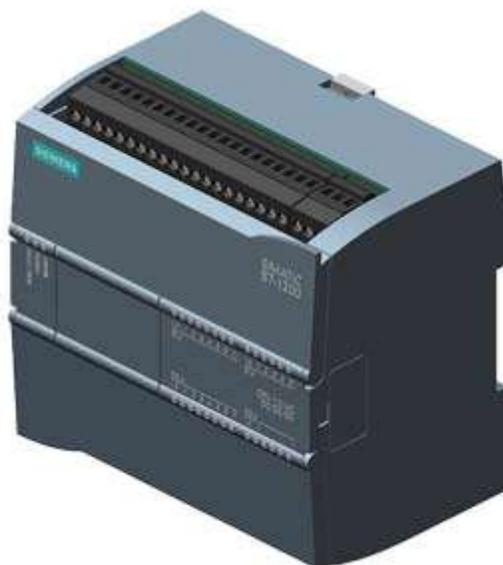


Figura 157 SIMATIC S7-1200, CPU 1214C, CPU compacta DC/DC/DC
[41]

CPU 1214C DC/DC/DC
6ES7214-1AG40-0XB0



Alimentación	24 V DC
Rango admisible, límite inferior	20,4 V DC
Rango admisible, límite superior	28,8 V DC
Memoria de trabajo – integrada	100 Kbyte
Entradas digitales integradas	14
Salidas digitales integradas	10
Entradas analógicas	2 de 0 a +10 V
Tensión de salida 0 lógico – 1 lógico	0,1 V 20 V
Aislamiento galvánico	Si
Tipo de Interfaz	PROFINET
Protocolos	PROFINET IO-Controller PROFINET IO-Device Comunicación SIMATIC Comunicación IE abierta Servidores web PROFIBUS AS -interface Modbus
Precio	\$ 1.480.000

Tabla 68 Características CPU 1214C DC/DC/DC
[41]

5.3.3.1. Selección de módulos de PLC

Las características de la CPU seleccionada incorporan 14 entradas digitales, 10 salidas digitales y 2 entradas analógicas, haciendo necesario incorporar los módulos necesarios para acatar con los requerimientos, es decir 23 entradas analógicas, 12 entradas digitales, 9 salidas digitales, 3 salidas analógicas.

MÓDULO	REFERENCIA	CARACTERÍSTICAS	SLOT
ENTRADAS DIGITALES	6ES7221-1BH32-0XB0	16 entradas digitales a 24Vdc tipo transistor configurable PNP y NPN	2
SALIDAS DIGITALES	6ES7222-1BH32-0XB0	16 salidas digitales a 24Vdc tipo transistor	6
ENTRADAS ANALÓGICAS	6ES7231-4HF32-0XB0	8 entradas analógicas +/-10V, +/-5V, +/-2.5V, o 0-20mA/4-20mA, 12 Bit	3,4 y 5



	6ES7231-4HA30-0XB0	1 entrada analógica +/-10VDC (resolución 12 Bit) O 0 - 20mA	1
SALIDAS ANALÓGICAS	6ES7232-4HD32-0XB0	4 salidas analógicas +/-10VDC (resolución 12 Bit) O 0 - 20mA (resolución 13 Bit)	7

Tabla 69 Selección de módulos de PLC
[Autor]

La configuración definida del PLC según la *figura 158* se identifican los módulos de la siguiente manera:

- Slot 1: CPU 1214C DC/DC/DC
- Slot 2: SM 1221 DC Módulo de 16 entradas digitales
- Slot 3,4 y 5: SM 1231 AI Módulo de 8 entradas analógicas
- Slot 6: SM 1222 DC Módulo de 16 salidas digitales
- Slot 7: SM 1232 AQ Módulo de 4 salidas analógicas

TIA Selection Tool permite realizar la selección de los módulos de acuerdo a las necesidades del proceso.

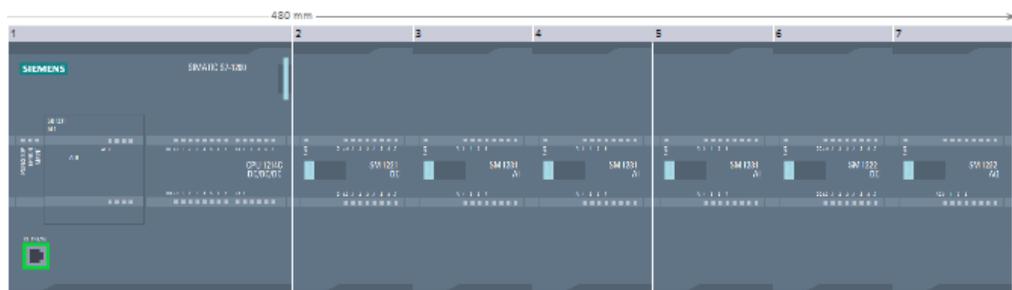


Figura 158 Módulos PLC
[Autor]

5.3.4. SISTEMAS DE SUPERVISIÓN Y ADQUISICIÓN DE DATOS

El uso de una variedad de pantallas de operador, constituye un papel importante en este tipo de sistemas, para ello los sistemas SCADA contiene funciones específicas que se tendrán en cuenta.



1. Adquirir, almacenar y mostrar información de una forma continua y confiable, acerca del estado de los dispositivos de campo, mediciones y alarmas.
2. Ejecutar acciones de control iniciadas por el operador.
3. Aplicaciones en general, que se basen en la información obtenida por el sistema como lo son: cálculos, detección de anomalías, historial de variables, entre otras.
4. Informar al operador por medio de una alerta las inconsistencias que impidan el normal funcionamiento y que sean almacenados para su posterior análisis.

Las prestaciones de un sistema SCADA deben estar disponibles en cualquier momento, [29] La serie SIMATIC cuenta con una variedad de dispositivos pasando por el PLC de alto rendimiento, hasta llegar a los paneles HMI / SCADA, haciendo el uso de software y hardware para controlar máquinas o procesos industriales, para ello se opta por lo paneles SIMATIC HMI, el cual son configurados con SIMATIC WinCC desde TIA Portal, dentro de este sistema integrado encontramos Comfort paneles, Basic paneles.

GRUPO	PULGADAS	RESOLUCIÓN	REFERENCIA
KTP400	4"	480x272	6AV2123-2DB03-0AX0
KTP700	7"	800x480	6AV2123-2GA03-0AX0
KTP900	9"	800x480	6AV2123-2JB03-0AX0
KTP1200	12.1"	1280x800	6AV2123-2MA03-0AX0

Tabla 70 Paneles Basic
[Autor]

PANEL HMI 7"	
Panel	



	 <p style="text-align: center;">Figura 159 Panel HMI KTP700 Basic [47]</p>
Referencia	6AV2123-2GA03-0AX0
Anchura del display	154.1 mm
Altura del display	85.9 mm
Número de colores	65536
Teclas de función	8
Posición de montaje	Vertical
Tipo de alimentación	24 V DC
Rango inferior límite	19.2 V DC
Rango superior límite	28.8 V DC
Consumo nominal	230 mA
Peso	0.8 kg
Protocolo	PROFIBUS, MPI
Protección	IP65 (Frontal) IP20 (Lado posterior)
Tipo de procesador	ARM
Precio	\$ 2.255.000 COP

Tabla 71 Características HMI Siemens KTP700 Basic color DP [Autor]

GRUPO	PULGADAS	RESOLUCIÓN	REFERENCIA
KTP400	4"	480x272	6AV2124-2DC01-0AX0
TP700	7"	800x480	6AV2124-0GC01-0AX0



TP900	9"	800x480	6AV2124-0JC01-0AX0
TP1200	12.1"	1280x800	6AV2124-0MC01-0AX0
TP1500	15.4"	1280x800	6AV2124-0QC02-0AX0
TP1900	18.5"	1366X768	6AV2124-0UC02-0AX0
TP2200	21.5"	1920X1080	6AV2124-0XC02-0AX0

Tabla 72 Paneles Comfort
 [Autor]

PANEL HMI 7"	
Panel	 <p>Figura 160 Panel HMI TP1200 Comfort [47]</p>
Referencia	6AV2124-0XC02-0AX0
Anchura del display	472,2 mm
Altura del display	267.3 mm
Número de colores	16.777.216
Teclas de función	40
Posición de montaje	Vertical
Tipo de alimentación	24 V DC
Rango inferior límite	19.2 V DC
Rango superior límite	28.8 V DC
Consumo nominal	2.2 A
Peso	7.5 kg
Protocolo	PROFIBUS, MPI
Protección	IP 65 (Frontal)



	IP 20 (Lado posterior)
Tipo de procesador	ARM
Precio	\$ 25.235.000 COP

Tabla 73 Características HMI Siemens TP1200 Comfort [47]

TIA Selection Tool permite realizar la selección de los módulos de acuerdo a las necesidades del proceso, integrando los módulos analógicos y digitales, el CPU, fuente de 24V DC y switch.

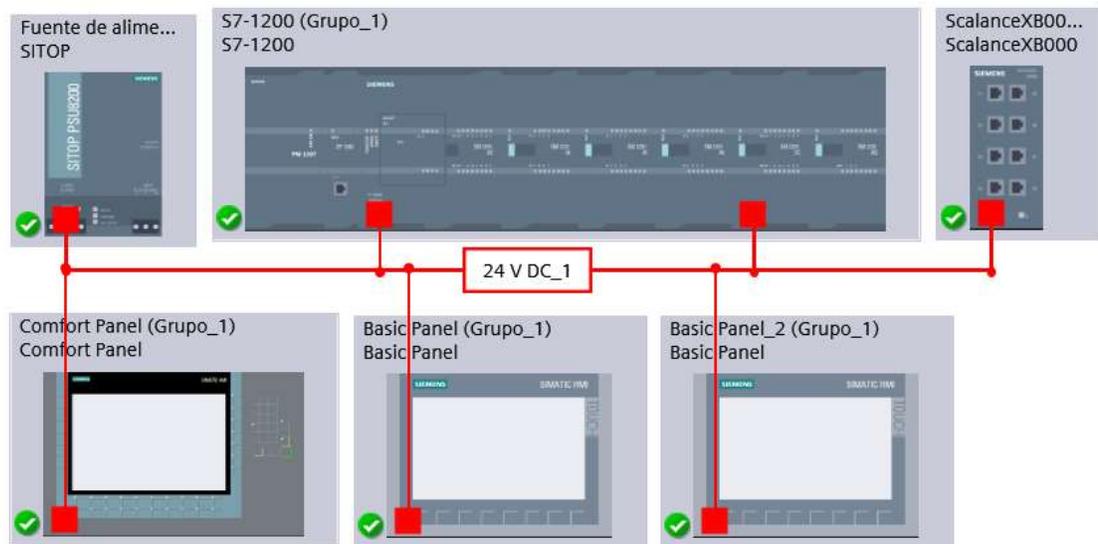


Figura 161 Vista de consumidores de 24 VDC [Autor]

A partir de la selección de módulos, cuando se produce un intercambio de datos en tres equipos a través de un sistema de bus. La mayoría de los equipos se han construido en torno a la ejecución de protocolos basados en hardware. Las comunicaciones industriales es la columna vertebral de la automatización industria, hay cuatro componentes principales en la automatización industrial, incluyendo los controladores PLC, paneles HMI, accionamientos industriales y sensores, en la *figura 162* se ilustra la forma como funcionan todos juntos.

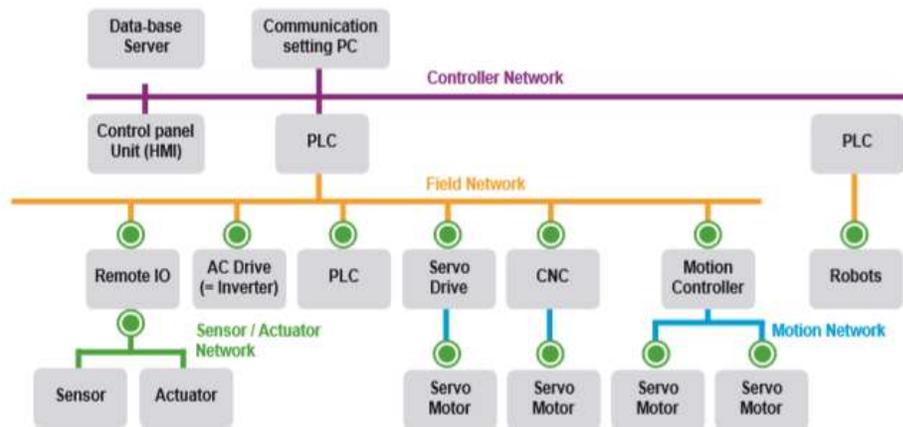


Figura 162 Red de la automatización industrial [42]

El HMI de la interfaz gráfica usada por el operario para el control industrial, esta proporciona una interfaz de entrada de comandos y salida de retroalimentación para el control de la maquinas, el enlace de comunicación es común a otras partes del sistema. En la industria encontramos variedad de protocolos de comunicaciones industriales.

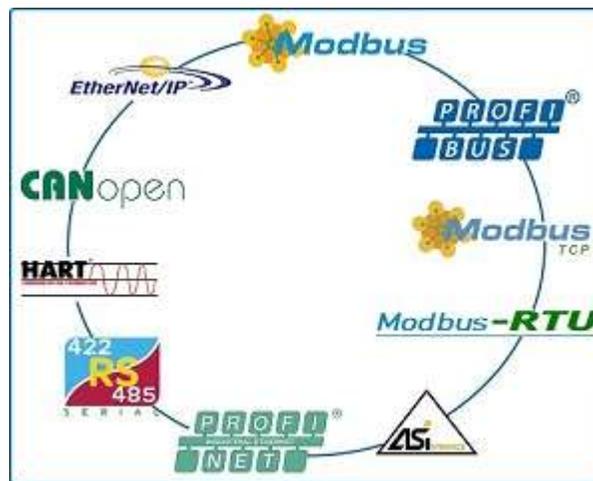


Figura 163 Protocolos de comunicaciones industriales [43]

En la propuesta se dispondrá del estándar de comunicación PROFINET acíclica, el cual está basado industrial Ethernet bajo la norma IEEE 802.3, esta adaptación permite trabajar en el entorno industrial, en una topología estrella como se ilustra



en la *figura 164*, permite una transferencia de datos sin presentar colisiones como se suele presentar en bus.

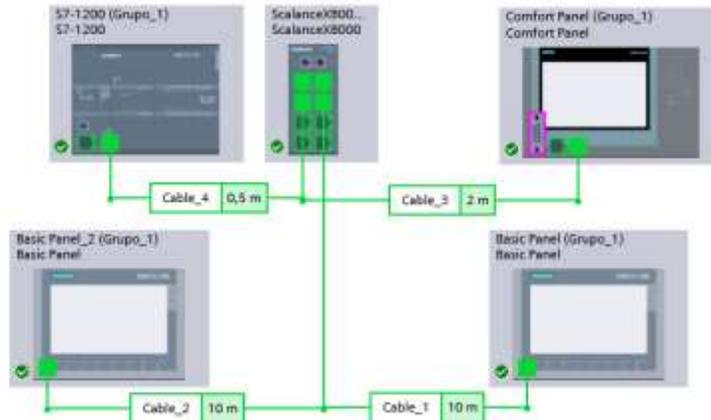


Figura 164 Topología estrella con Ethernet
[Autor]

PROFINET es ampliamente utilizado por los principales fabricantes de equipos industriales como SIEMENS y GE, tiene tres clases diferentes

1. PROFINET Clase A: Proporciona acceso a una red PROFIBUS a través de un proxy, puenteado Ethernet y un procedimiento remoto llamado a TCP/IP, su tiempo de ciclo es de aproximadamente 100 ms y se usa principalmente para datos de parámetros de entradas y salidas E/S cíclicas. La aplicación típica más común es la automatización en edificios.
2. PROFINET Clase B: Denominado PROFINET real - time (PROFINET RT), tiene un enfoque en tiempo real basado en software y reduce el tiempo de ciclo aproximadamente 10 ms, esta clase se usa típicamente en la automatización de procesos.
3. PROFINET Clase C: PROFINET IRT, es asíncrona y en tiempo real, y requiere de hardware especial para reducir el tiempo de ciclo un ms para ofrecer un rendimiento suficiente en al Ethernet industrial en tiempo real para operaciones de control en movimiento.

Ethernet es un sistema cableado el cual hace el uso del cable de cobre de par trenzado y cableado de fibra óptica en la siguiente *tabla 74* se observan las características del cable Cat 6 de par trenzado.



CABLE DE PAR TRENZADO CAT 6 INDUSTRIAL ETHERNET	
Cable flexible	 <p>Figura 165 Cable Ethernet Cat. 6 [Autor]</p>
Referencia	2170488
Radio de curvatura mínimo	Instalación fija: 4 x radio exterior Flexión: 7.5 x radio exterior
Calibre	4x 2 x AWG 26/19
Tensión de cresta de trabajo	Máximo 100V
Transferencia	Hasta 1000Mbit para ethernet industrial
Temperatura	Instalación fija: -40°C a +80°C Flexión: desde -30°C hasta +80°C
Tensión de prueba	700 V
Diámetro máximo	0.98 mm
Índice de cobre	31.7 kg/km
Peso	63 kg/km
Precio	\$ 620.000 COP/100 kg

Tabla 74 Características de cable Ethernet Cat. 6
[Autor]

CABLE DE PAR TRENZADO CAT 6 INDUSTRIAL ETHERNET	
Conector	 <p>Figura 166 Data AX RJ45 Cat. 6</p>



	[Autor]
Referencia	21700600
Protección	IP 20
Temperatura ambiente	-40°C a +85C
AWG sólido	24 - 22
Precio	\$ 30.000 COP C/U

Tabla 75 Características de conector RJ45 bajo norma IEC 60603-7-51

El código de colores permite determinar la conexión con seguridad de instrumento a instrumento, de esta forma se disminuye los errores por conexión, el cable puede ir de forma directa o cruzada eso dependerá la función del cable, los cables se componen de cuatro pares de cables, cada uno tiene un color sólido y una franja del mismo color. Para normalizar la disposición de cables, se utilizan dos estándares, el T568A y T568B, estos estándares proporcionan esquemas de cableado para conectores RJ45 de 8 posiciones.

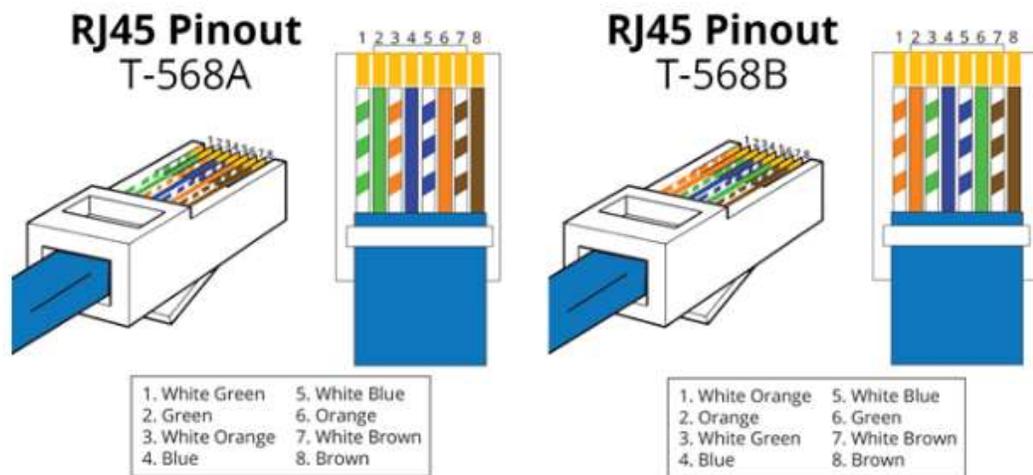


Figura 167 Orden del cableado bajo la norma T-568A, T-568B
[Autor]



5.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para determinar las necesidades de la planta y conocer su proceso, se hizo necesario un diagnóstico que cubriera todo el proceso que conlleva la potabilización, a partir de serie de tareas, se inicia la realización de los diagramas P&ID que permiten integrar la instrumentación industrial y la tubería implicada en el proceso, al mismo tiempo a través de la casa de la calidad se determinada por medio de la encuesta realizada al personal correspondiente de EMCOAAAFOR ESP, se dan pautas para definir las características que se debían tener en cuenta de acuerdo a la propuesta y expectativas del operario, seguidamente los instrumentos generan requerimientos técnicos de acuerdo a la tarea a realizar y de esta manera llevar a cabo la integración de estos al proceso de una forma interactiva y de rápida adaptación, dividida en cuatro fases, servicio, componentes, procesos, producción.

Para el diseño del sistema de automatización se realizó el requerimiento de señales de entradas y salidas analógicas como digitales del PLC para garantizar que cumpliera a cabalidad, el diseño de la interfaz se lleva a cabo en el software El Portal de Automatización Totalmente Integrada o TIA Portal V15, a través de su portal se puede indagar en las diferentes opciones de trabajo, desde los controladores en su gran diversidad, en *figura 168* se pueden apreciar los controladores de siemens.



REALIZAR UNA PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE EN LA EMPRESA EMCOAAAFOR ESP FORTUL ARAUCA
Universidad de Pamplona – Facultad de Ingenierías y Arquitectura
Departamento MMI – Ingeniería Mecatrónica

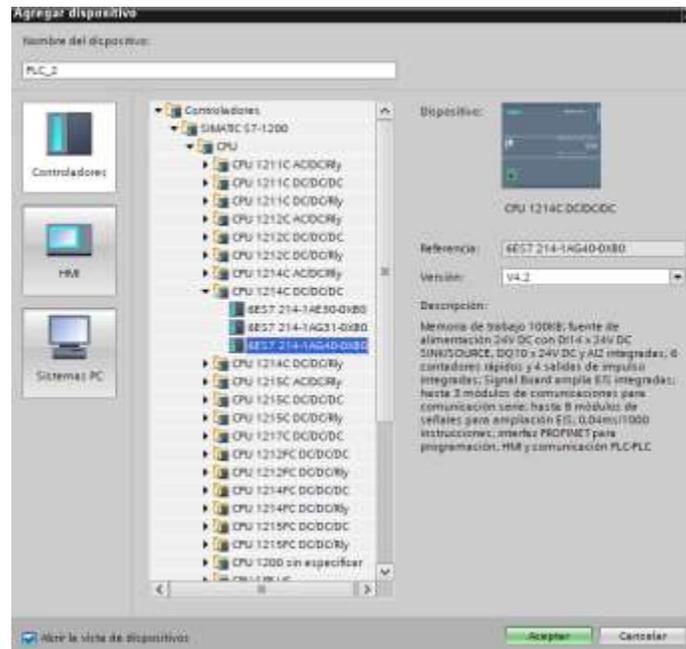


Figura 168 Agregando controlador S7-1200 DC/DC/DC en versión V4.2
[Autor]

En figura 169 se pueden apreciar la HMI de siemens.



Figura 169 Agregando HMI TP1200 Comfort y KTP700 Basic en versión V15
[Autor]



La interfaz de cada proceso hace un papel importante, en esta propuesta se van a tener en cuenta todas las variables inmersas, en la *figura 124* se observa el diagrama de bloques del proceso de potabilización actual donde implica la captación y tratamiento, junto a ello se determina la dirección del flujo dando un inicio y un final, esta se distribuye a través de los insumos, variables y análisis de las variables que son almacenados como el pH, color, turbidez, temperatura, caudal, nivel, peso, entre otras. Algunas de estas variables deben mantenerse en rangos de acuerdo a la normatividad implicada. En a la *figura 126* observamos el diagrama de instrumentación y tubería actual, a partir de este se planifica la proyección dada en la propuesta. En ilustración de la *figura 127* se encuentra el *diagrama proyectado*.

A partir de este se estipulan parámetros que permiten interactuar a través de una interfaz gráfica, basándose en los P&ID, estos incorporan variables que se distribuyen a través de una línea de producción que se ramifica en diferentes subprocesos, en la sala de control se ubicara un panel de 22” que permitirá visualizar las variables de todo el proceso, seguidamente se ubicaran dos paneles más estratégicamente que permitan supervisar y controlar el proceso de dosificación de coagulante y dosificación del desinfectante, la interfaz dispone de un menú jerarquizado como se ilustra en la *figura 170*.





Figura 170 Jerarquía de la interfaz del SCADA
[Autor]

El menú principal se accede a través del inicio de sección en la interfaz, se solicita un usuario y una contraseña correspondiente, de esta forma da garantía que el acceso sea restringido a personal no autorizado que pueda perturbar el normal funcionamiento de la planta de tratamiento, generando seguridad al sistema y dando garantía de calidad, en la *figura 171 se puede apreciar*.



Figura 171 Acceso al menú principal de la interfaz del SCADA
[Autor]

En la *figura 172 se ilustra la interfaz en el menú principal*, en esta se observan tres accesos. son las variables del proceso, la dosificación Hidroxicloruro y la dosificación de cloro gaseoso.



Figura 172 Acceso al menú principal de la interfaz del SCADA
[Autor]

En las variables del proceso se tienen en cuenta que, por la cantidad de variables utilizadas en el proceso, visor de gráficas, señales de entrada y de salida junto a sus estados, campos históricos, avisos de precaución, alarmas, mantenimiento y diagnóstico de la pantalla HMI, cuando la automatización de la planta se lleve a cabo, esta dará forma a una adaptación al sistema de acuerdo a las necesidades y yendo a un ciclo infinito de mejora continua a través de planificar, hacer, verificación, actuar. Por lo tanto, esta proyección está sujeta a cambios. En la *figura 173* y *figura 174* se observan las variables en forma conjunta, tanto sus estados y sus variables.

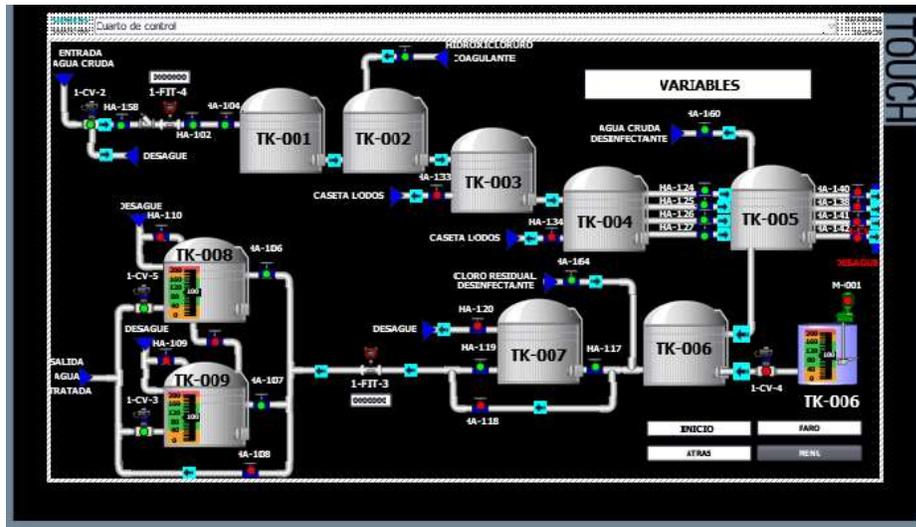


Figura 173 Variables en forma conjunta del proceso grafico
 [Autor]

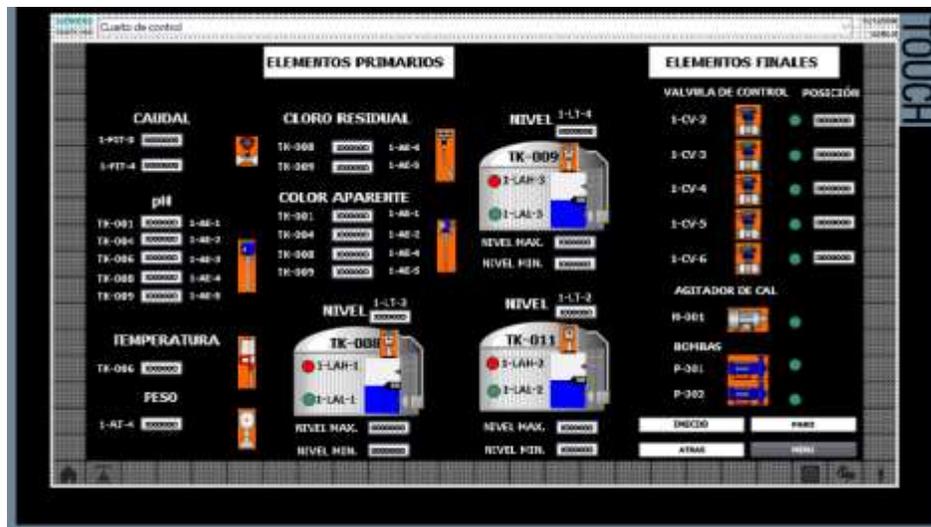


Figura 174 Variables en forma conjunta del proceso
 [Autor]

Con respecto a la dosificación y el control de la misma, se tuvieron en cuenta el cargue y descargue del coagulante mediante el camión cisterna, por otro lado, el dosificador de cloro gaseoso requiere de cambio de pipeta que está al alcance del operario. En la figura 175 se observa el dosificador de Hidroxicloruro.

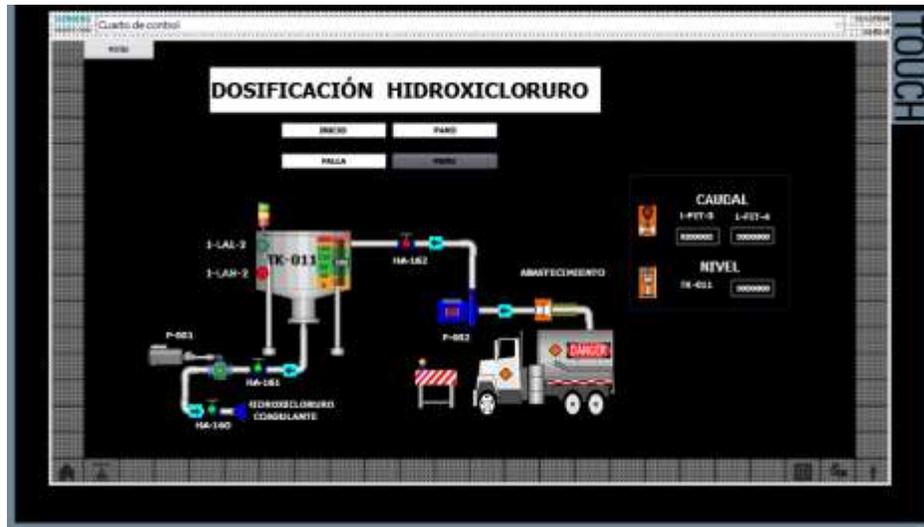


Figura 175 Dosificación de Hidroxicloruro
 [Autor]

En la figura 176 se observa el dosificador de cloro gaseoso.

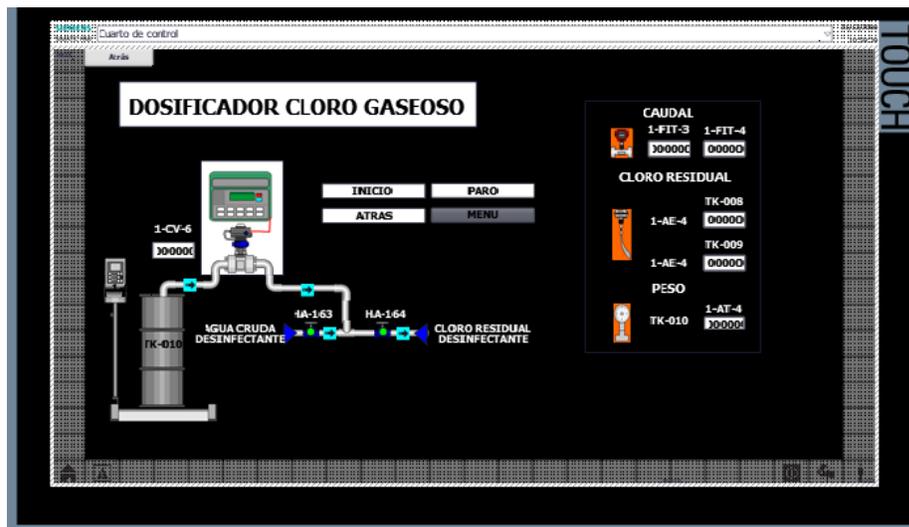


Figura 176 Dosificación de cloro gaseoso
 [Autor]

Con el fin de validar una parte del proceso, se lleva a cabo la simulación en el software LabVIEW, un lenguaje gráfico que permite interactuar con el proceso de una forma directa, a través de symbol Factory toma un aspecto semejante a la interfaz gráfica utilizada en la HMI del sistema SCADA. En la figura 177 se

observa la interfaz del proceso de dosificación de cloro gaseoso junto a las variables.

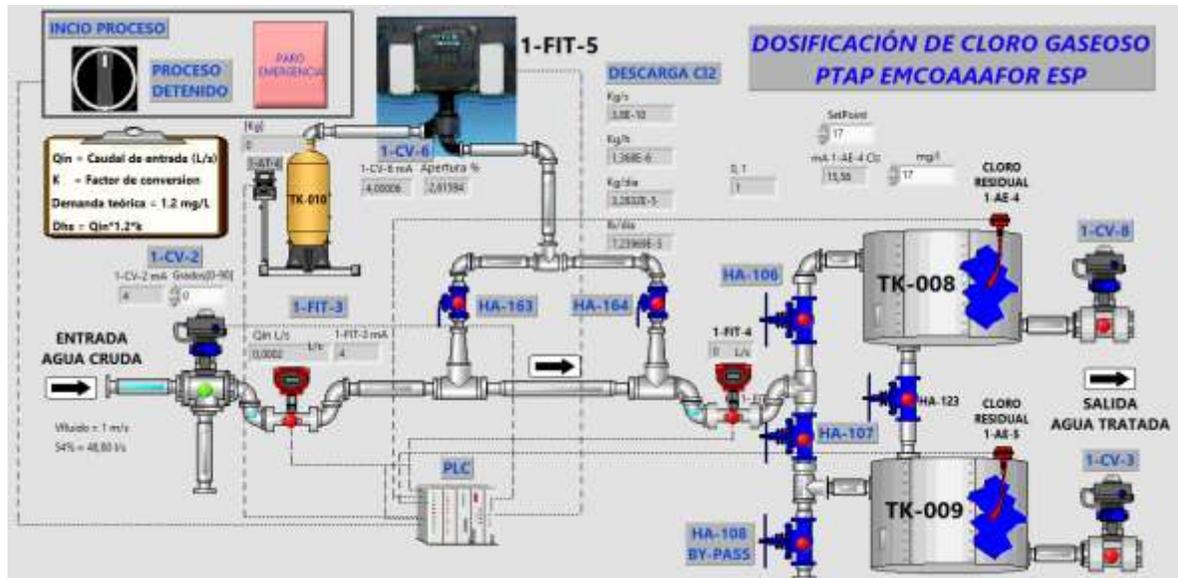


Figura 177 Simulación del proceso de dosificación de cloro gaseoso
 [Autor]

La simulación del proceso de dosificación de cloro gaseoso está basada en la ecuación 2 actualmente, en la simulación del proceso de la *figura 177*, se hace necesario el modelamiento matemático entre las variables físicas que se convierte en señales de corriente de 4-20 mA, para ello la planta de tratamiento cuenta con la base de datos en la que se analiza el gasto de químico por descarga, de esta forma se determina la dosis óptimas es 19 mg/L. En la *ecuación 4* se obtiene la descarga de coagulante en kg/h.

$$Des \left(\frac{Kg}{h} \right) = \frac{Dosis \left(\frac{mg}{l} \right) * Qin \left(\frac{l}{s} \right)}{277.778}$$

Ecuación 4 Descarga de desinfectante en función del caudal de entrada
 [Autor]

A continuación, se dan a conocer las gráficas que relacionan la variable física a eléctrica, eléctrica a eléctrica, física a física y eléctrica a física.

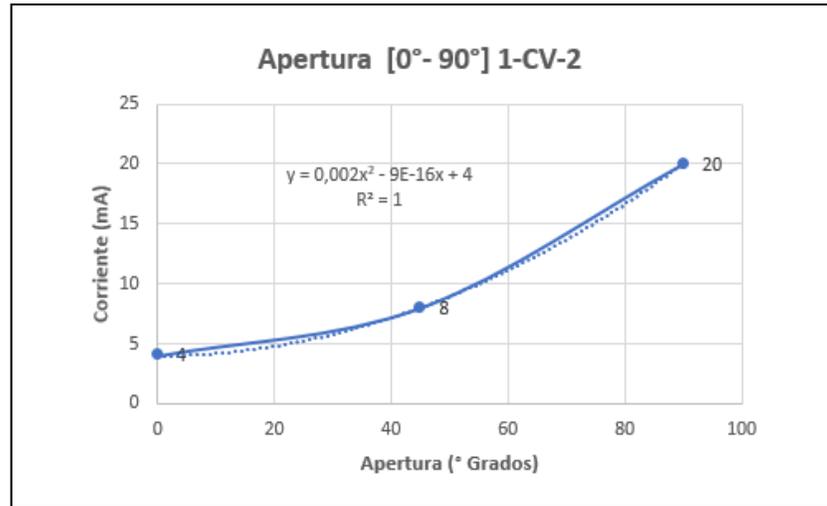


Figura 178 Regresión polinómica de apertura (grados) 1-CV-2 en función de la corriente 4-20 mA [Autor]

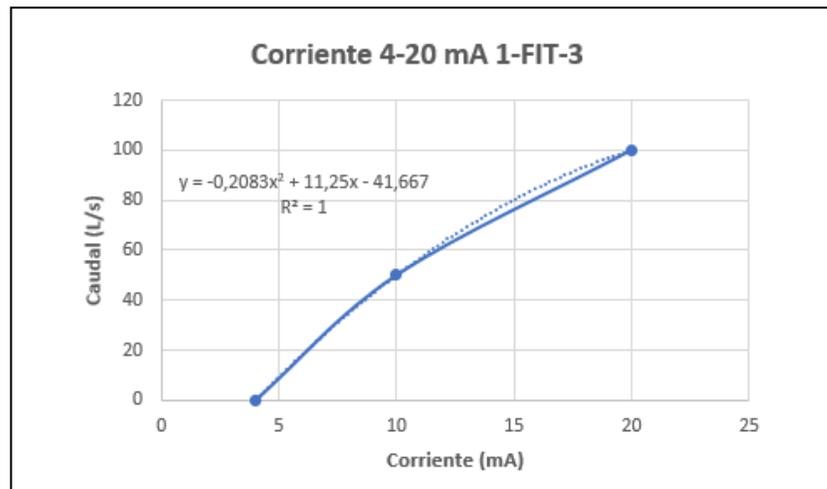


Figura 179 Regresión polinómica de corriente 4-20 mA 1-FIT-3 en función del caudal de (0-49) L/s [Autor]

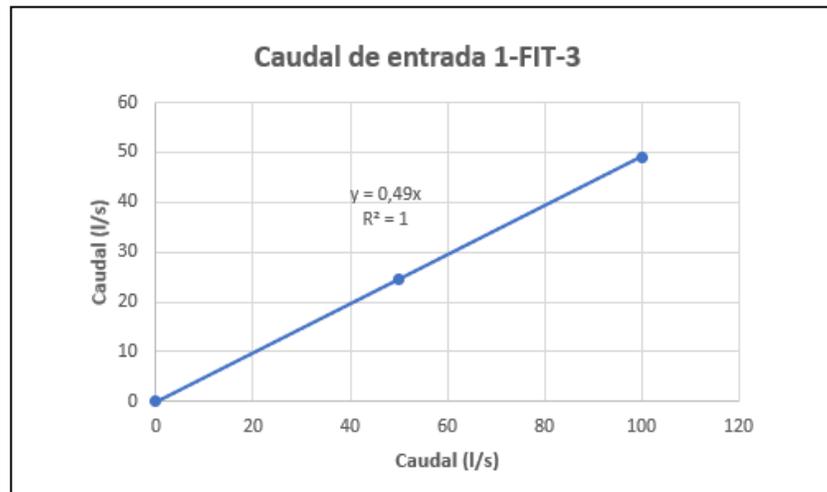


Figura 180 Regresión polinómica de caudal de (0-100) 1-FIT-3 en función del caudal de (0-49) L/s [Autor]

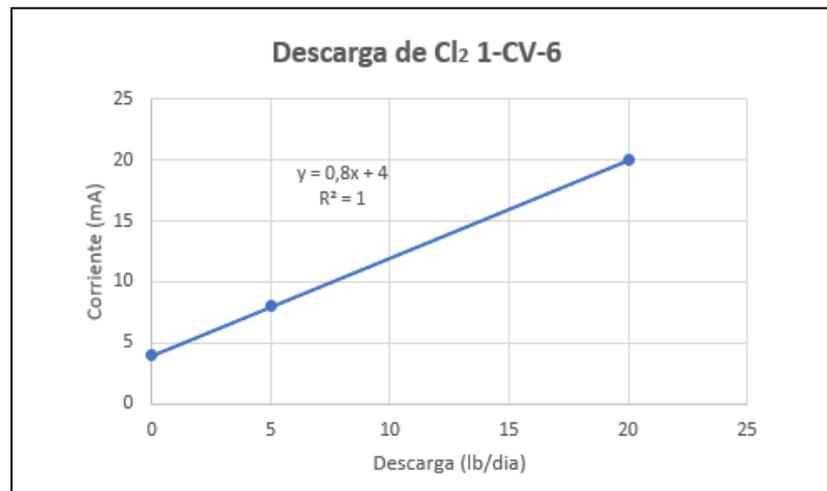


Figura 181 Regresión polinómica de descarga (lb/día) 1-CV-6 en función de corriente 4-20 mA [Autor]

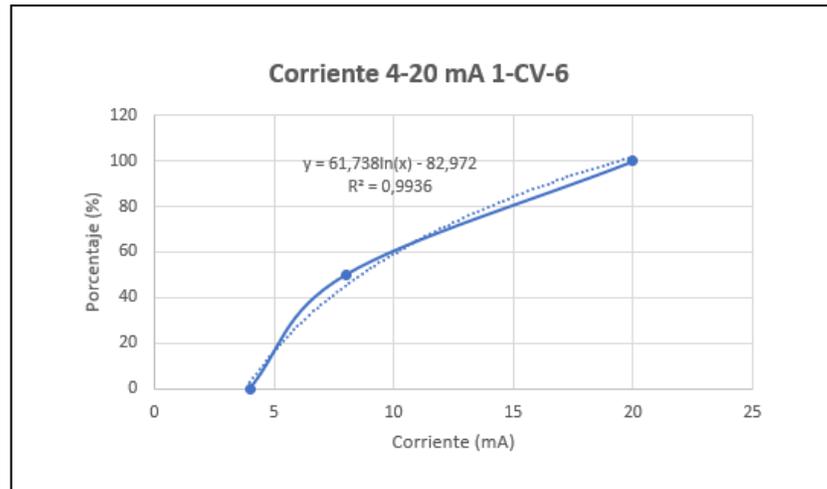


Figura 182 Regresión polinómica de corriente 4-20 mA 1-CV-6 en función del caudal (0-49) L/s
[Autor]

El proceso se lleva a cabo en un orden lógico que dará lugar a un control general del proceso de desinfección.

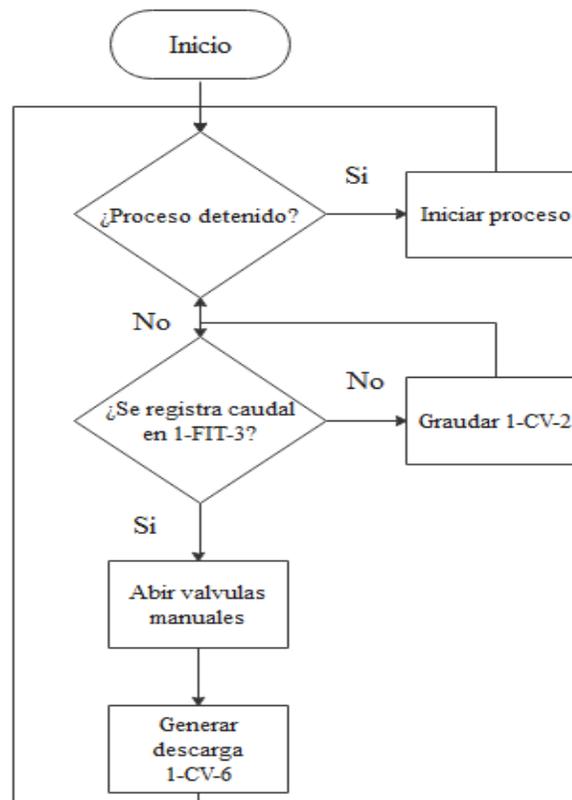




Figura 183 Diagrama de flujo de descarga de cloro gaseoso parte 1
[Autor]

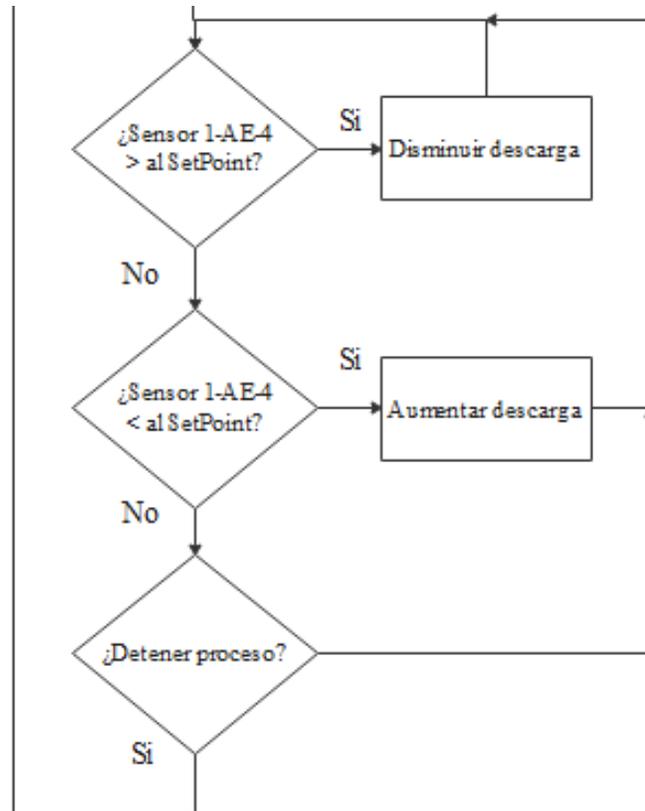


Figura 184 Diagrama de flujo de descarga del cloro gaseoso parte 2
[Autor]

Se continuará trabajando en la propuesta de automatización en conjunto con la empresa para analizar las variables que en la simulación no se tiene en cuenta y se trabaja en constante, determinar puntos de muestreo, entrando más en detalle de acuerdo a la producción de agua tratada.



6. CONCLUSIONES

Cada instrumento se relaciona con la etiqueta correspondiente en el diagrama de instrumentación de tubería, esto permite tener control sobre las variables y un mayor orden en el momento de la implementación de la propuesta. Los buses de datos que permiten la integración de equipos para la medición y control de variables de proceso, reciben la denominación genérica de buses de campo. Diagramas

Algunos de los instrumentos usados en el proceso actual, son obsoletos y la mayoría de ellos se deberán reemplazar, lo que hace que el presupuesto aumente, considerablemente con la adquisición de los equipos, haciéndose necesario de la comprar de nuevos equipos.

Los lodos producidos en el proceso de decantación en la planta contienen altas concentraciones de químico, de acuerdo a lo planteado, la dosificación aplicada será la correspondiente a la dosis óptima, de esta forma los lodos que se tratan en lecho de secado generaran un menor impacto al medio ambiente. Ambiental

La tecnología se ha proyectado hacia la industria 4.0 permitiendo de esta forma hacer que las comunicaciones industriales estén implicadas en la evolución de los procesos, los protocolos de comunicación como PROFINET, Ethernet Net/IP alcanzan ciclos de bus de 100 microsegundos, lo que significa que el tiempo de respuesta del sistema tiende a tener mayor procesamiento y control, realizando las transferencias de datos sin colisiones y de forma transparente.



7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Florencia Ucha (2011), Medio Ambiente – Potabilización DefinicionABC. Consultado 29 de enero 2020, recuperado de <https://www.definicionabc.com/medio-ambiente/potabilizacion.php>.
- [2] Empresa departamental de servicios públicos Cumare SA ESP (2018) Manual de operación de la planta de tratamiento de agua potable de empresa comunitaria de acueducto, alcantarillado y aseo urbano y rural del municipio de Fortul, p 28.
- [3] Higiene ambiental (2018), La historia del tratamiento del agua potable: un camino hacia la mejora radical de la salud pública. Consultado 27 de enero de 2020, recuperado de <https://higieneambiental.com/aire-agua-y-legionela/la-historia-del-tratamiento-del-agua-potable-un-camino-hacia-la-mejora-radical-de-la-salud-publica>.
- [4] hidrosolución (2016), las plantas de potabilización hidrosolución-POT, consultado 1 de enero de 2020, recuperado de <http://www.hidrosolucion.com/project/plantas-potabilizadoras-modulares/>.
- [5] IRC (1998), World of wáter 2000: the past, present and future, Consultado 3 de febrero de 2020, recuperado de <https://www.ircwash.org/resources/world-water-2000-past-present-and-future>
- [6] Velázquez, J. (2012). Tecnologías para la Automatización Industrial. Energía & Negocios.
- [7] Castellanos, E. I. (2008). Sistemas de automatización. Santa Clara,



Universidad Central" Marta Abreu" de las Villas

- [8] Ruedas Escobar, C. M. Automatización industrial, Áreas de aplicación para ingeniería, p 1
- [9] Lozano Suárez L. D., Sánchez Guzmán P. (2017) Sistema de instrumentación, actuación y automatización de una planta de tratamiento de agua potable para campamentos de pozos petroleros, Universidad Piloto de Colombia, p. 25
- [10] Hall, EL y Dietrich, AM (2000). Una breve historia del agua potable. Opflow , 26 (6), 46-49.
- [11] Fair Gayer y Okun (1979)– “purificación y agua tratada y remoción de aguas residuales”. 1ra Edición p 418.
- [12] Azevedo Netto Jose M. (1983) “Consideraciones sobre cloración de agua” 12^a. Congreso Brasileiro de ingeniería sanitaria y ambiental – Cam-boriu
- [13] American Wáter Works Association. (1968), “Agua, su calidad y tratamiento”, p 194
- [14] Gobierno peruano (2000), Desinfección de agua, consultado 29 de febrero 2020, recuperado de <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/321045/4616-220190613-19707-1yuskqi.pdf>
- [15] Arboleda J. “Manual de desinfección del agua” p 30 – 33- 1976.
- [16] OPS guías para la calidad del agua potable 1987 p 325



- [17] C. D. B, Artist, (2005) Optimización de los sistemas de medición y costos en las plantas de tratamiento de aguas y arcilla situada en la empresa fertilizantes colombianos S.A de la ciudad de Bucaramanga
- [18] National instruments (2019), Fundamentos de Medidas de Presión, consultado 15 de febrero 2020, recuperado de <https://www.ni.com/es-co/innovations/white-papers/11/pressure-measurement-overview.html>
- [19] González, C. (2011). Monitoreo de la calidad del agua. In La Turbidez. Consultado 15 de febrero 2020, recuperado de <http://academic.uprm.edu/gonzalezc/HTMLobj-859/maguaturbidez.pdf>
- [20] OMS | Calidad del agua potable. (2019). Consultado 6 junio 2020, recuperado de https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/es/
- [21] Fols, G., & Technolo, V. (2020). Visión general Válvula de bola de acero inoxidable de control motorizado DN 200 de 8 pulgadas con actuador de 24 V CC Especificación de producto sistema de agua válvula de bola eléctrica. 1–13.
- [22] OMS | Calidad del agua potable. (2019). Consultado 6 enero 2020, recuperado de https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/es/
- [23] Para que se usen los indicadores de pH, Farbe (2018). Consultado 6 de enero 2020, recuperado de <https://www.farbe.com.mx/para-que-se-usan-los-indicadores-de-ph/>
- [24] ¿Qué es la instrumentación industrial?, AUTYCOM (2020). Consultado 6 junio 2020, recuperado de <https://www.autycom.com/que-es-la-instrumentacion-industrial/>



- [25] Empresa comunitaria de acueducto alcantarillado y aseo urbano y rural del municipio de Fortul (2020), Planta de tratamiento de agua potable.
- [26] Queralt, R. (2004). Instrumentación y control. Tecnología Del Agua, 24(253), 5–8.
- [27] Metalúrgica Construcel Colombia S.A (2018). Catálogo de productos. Consultado 27 de febrero 2020, recuperado de <http://www.ecogen.com>
- [28] Proyectos empresariales, plantas de tratamiento - agua potable - aguas acidas - futura ingenieros. (2019). Consultado 6 de junio 2020, recuperado de <http://futuraing.com/proyectos.html>
- [29] Castellanos, E. I. (2012). Sistemas de Automatización (Samuel Fei; L. R. Romero & E. I. Castellanos, Eds.). Santa clara, villa clara.
- [30] Prieto, L. T. (2018). Sistema de análisis sanguíneo para proteína C reactiva con visión artificial, Universidad de Pamplona, p 228.
- [31] RealPArS (2018) what is the automation pyramid, consultado 17 de abril 2020, recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=IAhxYsMi4e8>
- [32] Futura ingenieros S.A.C (2018) proyectos, consultado 20 de abril de 2020, recuperado de <http://futuraing.com/proyectos.html>
- [33] Castellanos, E. I. (2012). Sistemas de Automatización (Samuel Fei; L. R. Romero & E. I. Castellanos, Eds.). Santa clara, villa clara.
- [34] Castellanos, E. I. (2012). Sistemas de Automatización (Samuel Fei; L. R. Romero & E. I. Castellanos, Eds.). Santa clara, villa clara.



- [35] Metalúrgica Construcel Colombia S.A (2018). Catálogo de productos. Consultado 27 de febrero 2020, recuperado de <http://www.ecogen.com>
- [36] Metalúrgica Construcel Colombia S.A (2018). Catálogo de productos. Consultado 27 de febrero 2020, recuperado de <http://www.ecogen.com>
- [37] Creus, S. A. (2011). Instrumentación industrial (Alfaomega). Recuperado de <http://www.alfaomega.com.mx>
- [38] Sierra, J. C., & Lara, D. R. (2011). Tutorial Norma ISA S5.1 Y DIAGRAMAS P&ID. Office, 2(3), 80. <https://doi.org/10.5296/jpag.v8i3.13638>
- [39] Ortiz Rosas, A. (2017). Programación de PLC, HMI y comunicaciones en la industria. In Journal of Chemical Information and Modeling (Universida, Vol. 1). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- [40] Moreno Garrido, D., & Romero de Ávila, J. V. (2018). Proyecto de automatización de un prototipo de laboratorio mediante autómatas siemens S7 1200 y Scheider M241, y pantalla HMI TP.2507-E. 27–29.
- [41] Siemens, C. (2020). Hoja de Datos. (800), 10. <https://doi.org/10.1002/macp.201800087>
- [42] Ethernet, I., & Proto, C. (2019). Industrial Ethernet Communication Protocols. p 8.
- [43] Estrada Roque, J. A. (2015). Protocolos de comunicaciones industriales. 1(33), 1–3. Recuperado de <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/articulos/agosto-06.pdf>



- [44] Regal. (2019). Válvula inteligente. Boletín 7000, 2. Recuperado de <https://www.aguayaire.com/CLORADORES/rs-7000.pdf>
- [45] T568A y T568B: dos estándares de cable de red RJ45 | FS comunidad. (2018). Consultado 6 de junio 2020, recuperado de <https://community.fs.com/es/blog/t568a-vs-t568b-difference-between-straight-through-and-crossover-cable.html>
- [46] Siemens, C. (2015). Hoja de Datos SIMATIC HMI TP2200. (800), 2015. <https://doi.org/10.1002/macp.201800087>
- [47] Siemens. (2015). Hoja de Datos SIMATIC HMI, KTP700 Basic DP. (800), 2015. <https://doi.org/10.1002/macp.201800087>
- [48] Siemens. (2015). Hoja de Datos relé de sobrecarga térmica. (800), 2. <https://doi.org/10.1002/macp.201800087>
- [49] Siemens (2017). Relés térmicos de sobrecarga SIRIUS3RU.208. Recuperado de https://cache.industry.siemens.com/dl/files/164/60298164/att_893716/v1/manual_SIRIUS_overload_relay_3RU_3RB_es-MX.pdf
- [50] Siemens. (2015). Hoja de Datos Contactador de potencia. (800), 12. <https://doi.org/10.1002/macp.201800087>
- [51] Fols, G., & Technolo, V. (2020). Visión general Válvula de bola eléctrica de 3 vías con forma de grile de alimentos con mini actuador de 24 VCA Descripción del producto. 1–12.



8. GLOSARIO

Termorresistencia: Esta basada en propiedad que poseen todos los conductores de variar su resistencia en función de la temperatura.

NEC: Código nacional eléctrico, es un estándar estadounidense para la instalación segura del alumbrado y equipos eléctricos

Neumática: Esta tecnología es sencilla en el campo de la automatización en cuanto a mecanismos y los costos, consta de la utilización de aire comprimido y es empleada en la mayor parte de las máquinas modernas. La automatización industrial da soluciones sencillas a través de componentes neumáticos y electroneumáticos. [6] Esta fuente de potencia tiene múltiples funciones que dan ventajas, debido a esto es segura, económica, fácil de transmitir y adaptable, algunas aplicaciones se vuelven indispensable haciéndose imposible con otros medios energéticos.[6]

Hidráulica: Siendo esta una rama de la ingeniería, brindándonos grandes desarrollos en el campo de la industria, el desarrollo tecnológico en las últimas décadas ha permitido evolucionar el campo de la hidráulica, volviéndose indispensable para procesos que requerían grandes cantidades de energía para el levantamiento de masas, estructuras entre otras en la industria. [6] A su vez permite el accionamiento de mecanismos con unas prestaciones que muy pocas tecnologías llegan a cubrir, dando una gran precisión en sus procesos.

Tecnología electrónica: el controlador lógico programable (PLC) realiza un papel importante en el campo de la automatización permitiendo un control dinámico en los diferentes procesos, este cuenta con un sistema operativo que permite interactuar con los diferentes instrumentos que controlan el proceso por medio de la interfaz y el sistema operativo del PLC, además de las consolas de operación y del HMI.

Software: El software se ha convertido en una herramienta fundamental en la industria, en la que se puede complementar el proceso, es decir por medio de los elementos activos de la planta se permite su programación con la finalidad de efectuar la supervisión, control y adquisición de datos (SCADA) a través de la medición, conversión y registro de las diferentes variables para su evaluación.



REALIZAR UNA PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE EN LA EMPRESA EMCOAAAFOR ESP FORTUL ARAUCA
Universidad de Pamplona – Facultad de Ingenierías y Arquitectura
Departamento MMI – Ingeniería Mecatrónica

HMI: Interfaz hombre máquina.

SCADA: Sistema de supervisión y adquisición de datos.

P&ID: Diagrama de instrumentación y tubería, en el software de AutoCAD Plant 3D de Autodesk se determinó como PID.



9. ANEXOS

- 9.1. ANEXO 1. SOBREVUELO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE EMCOAAAFOR E.S.P.(VIDEO)**
- 9.2. ANEXO 2. SOBREVUELO DE LA BOCATOMA DE EMCOAAAFOR E.S.P.(VIDEO)**
- 9.3. ANEXO 3. SIMULACIÓN EN LABVIEW DE LA DESCARGA DE CLORO GASEOSO. (VIDEO)**
- 9.4. ANEXO 4. PLANO DIAGRAMA DE INSTRUMENTACIÓN Y TUBERIA (PDF)**