

**PLAN DE IMPLEMENTACIÓN DE PROYECTO DE AUTOMATIZACIÓN
INDUSTRIAL, UN CASO DE ESTUDIO REFERENCIADO A LA PLANTA DE
TRATAMIENTO EL TABLAZO DEL ACUEDUCTO DE POPAYÁN**

ANEXOS



**JAVIER ANDRÉS HURTADO MERA
JOHNY ALEXANDER JAÉN LÓPEZ**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA, INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL
INGENIERÍA EN AUTOMÁTICA INDUSTRIAL
POPAYÁN
2010**

**PLAN DE IMPLEMENTACIÓN DE PROYECTO DE AUTOMATIZACIÓN
INDUSTRIAL, UN CASO DE ESTUDIO REFERENCIADO A LA PLANTA DE
TRATAMIENTO EL TABLAZO DEL ACUEDUCTO DE POPAYÁN**

ANEXOS



**Monografía presentada como requisito parcial para optar por el título de
Ingenieros en Automática Industrial**

**JAVIER ANDRÉS HURTADO MERA
JOHNY ALEXANDER JAÉN LÓPEZ**

**Director.
ING. ÁLVARO RENÉ RESTREPO GARCÉS**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA, INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL
INGENIERÍA EN AUTOMÁTICA INDUSTRIAL
POPAYÁN
2010**

CONTENIDO

	Pag
ANEXO 1.RECOMENDACIONES PARA LA REDACCIÓN DE OBJETIVOS DE UN PROYECTO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIA.	7
1 Pautas para la redacción y contenido de los objetivos	7
ANEXO 2 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	8
2. Descripción de la Empresa caso de estudio	8
2.1 Misión y visión de la empresa	11
2.1.1 Misión.....	11
2.1.2 Visión	11
2.1.3 Políticas de la empresa.....	11
2.1.4 Entes externos.....	11
2.1.6 Descripción Del Proceso Productivo.	13
2.1.4 Lista de equipos necesarios para la ejecución del proceso.....	25
2.1.5 Información del proceso.	26
ANEXO 3 MODELAMIENTO DE LA INFORMACIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO DE LA PLANTA EL TABLAZO	28
3.1 Diagrama de Bloques	28
3.2 Modelo Físico	29
3.3 modelo de control procedimental	30
3.4 Modelo de proceso.....	31
ANEXO 4 INFORMACIÓN PARA LA CALIFICACIÓN DE LOS PROBLEMAS IDENTIFICADOS EN LA PLANTA EL TABLAZO	33
ANEXO 5 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL.....	37
ANEXO 6 ALARMAS DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN PLANTA EL TABLAZO	51
ANEXO 7 PLAN DETALLADO DE TRABAJO	56
ANEXO 8 EJEMPLO DE PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN	73

Lista de figuras

Figura 1 Esquema de la planta de tratamiento El Tablazo	10
Figura 2 Etapas del proceso de potabilización en la plana El Tablazo.....	14
Figura 3 Diagrama P&ID actual bocatoma.....	15
Figura 4 Diagrama P&ID aireación y adición de floculantes actual	18
Figura 5 Diagrama P&ID filtración actual	21
Figura 6 Diagrama P&ID cloración y almacenamiento actual.....	23
Figura 7 Diagrama de Bloques	28
Figura 8 Diagrama P&ID bocatoma propuesto	47
Figura 9 Diagrama P&ID aireación y adición de floculantes propuesto	48
Figura 10 Diagrama P&ID Cloración y almacenamiento propuesto	49
Figura 11 Vista general del sistema de automatización planta El Tablazo	50

Lista de tablas

Tabla 1 Demanda de la planta El Tablazo	13
Tabla 2 Tubería de conducción.....	15
Tabla 3 Características de las cámaras de llegada.....	16
Tabla 4 Características de los floculadores planta El Tablazo	19
Tabla 5 Características de filtros en la planta El Tablazo	20
Tabla 6 Capacidad de almacenamiento	24
Tabla 7 Lista de equipos del proceso planta El Tablazo.	26
Tabla 8 Información de la planta El Tablazo.....	26
Tabla 9 Modelo de control procedimental.....	30
Tabla 10 Modelo de proceso	31
Tabla 11 Descripción del sistema de control de la planta El Tablazo.....	43
Tabla 12 Modos de operación del sistema de automatización para la planta El Tablazo	45
Tabla 13 Descripción de alarmas.....	51
Tabla 14 Sensores propuestos para la automatización de la planta El Tablazo.....	58
Tabla 15 Actuadores propuestos para la automatización de la planta El Tablazo	58
Tabla 16 Elementos de control y supervisión propuestos para la automatización de la planta El Tablazo	59
Tabla 17 Elementos adicionales propuestos para la automatización de la planta El Tablazo	60
Tabla 18 Software propuesto para la automatización de la planta El Tablazo	60
Tabla 19 Criterios para la selección de dispositivos	61
Tabla 20 Sensor – Transmisor de Turbidez (MTU1 Y MTU2).....	62
Tabla 21 Sensor – Transmisor de Turbidez (MTU3)	62
Tabla 22 Sensor – Transmisor Nivel (ML1).....	62
Tabla 23 Sensor – Transmisor Nivel (ML2, ML3, ML4)	63
Tabla 24 Sensor – Transmisor de Caudal (MF1).....	63
Tabla 25 Sensor – Transmisor de Caudal (MF2,MF3)	63
Tabla 26 Sensor – Transmisor de Caudal (MF4).....	64
Tabla 27 Sensor – Transmisor de pH (MH1,MH2,MH3).....	64
Tabla 28 Sensor – Transmisor de Cloro Residual	64
Tabla 29 Actuador Electro-Mecánico para válvulas (AEM1,AEM2,AEM3).....	65
Tabla 30 Posicionador Eléctrico Neumático (AEN1).....	65

Tabla 31 Variador de Frecuencia (VFD1)	65
Tabla 32 Variador de Frecuencia (VFD2)	66
Tabla 33 Motobomba (BDC1).....	66
Tabla 34 PLC gama baja (PLC1)	66
Tabla 35 PLC gama media (PLC4)	67
Tabla 36 HMI (HMI1).....	67
Tabla 37 Adaptadores de Señal (AdS1 y AdS2)	67
Tabla 38 Selección del software para el sistema de supervisión, adquisición y control	68
Tabla 39 Selección herramienta de configuración Profibus.....	68
Tabla 40 Actividades para la implementación de la solución de automatización propuestas	69

ANEXO 1.RECOMENDACIONES PARA LA REDACCIÓN DE OBJETIVOS DE UN PROYECTO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL.

En este anexo se presentan recomendaciones para la redacción y el contenido de los objetivos de un proyecto de automatización industrial.

1 Pautas para la redacción y contenido de los objetivos

- ✓ La redacción de los objetivos debe ser lo suficientemente clara como para ser entendidos por todos los miembros de la organización, sea cual sea su nivel académico, por tal razón no es recomendable usar lenguaje técnico en su redacción.
- ✓ Todo objetivo organizacional inicia con un verbo en infinitivo.
- ✓ Los objetivos deben tener un plazo en tiempo para llevarse a cabo.
- ✓ Con el fin de poder medir su incidencia, todo objetivo debe ser medible o cuantificable de alguna manera.
- ✓ En la redacción del objetivo se debe especificar muy bien el lugar o el sitio sobre el cual se desea incidir.
- ✓ No se recomienda el uso de la letra Y como conector, es mejor desarrollar otro objetivo.

ANEXO 2 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

En este anexo se encuentra la información recolectada a través de documentos de la empresa e información de los operarios y directivos de la planta El Tablazo, sugerida en la fase 2 del plan de implementación para proyectos de automatización industrial presentado el capítulo 2 del presente trabajo.

2. Descripción de la Empresa caso de estudio

La Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Popayán es una empresa perteneciente al sector de los servicios públicos, fundada en el año de 1955. Su objeto social lo constituye la prestación del servicio público de acueducto y alcantarillado, que consiste en la distribución municipal de agua apta para el consumo humano incluida su conexión y medición, a las actividades complementarias tales como captación de agua y su procesamiento, tratamiento, almacenamiento, conducción y transporte. [12]

La planta de tratamiento de agua potable "El Tablazo" se localiza en el sector nororiental del perímetro urbano de la ciudad de Popayán, en el departamento del Cauca.

El funcionamiento de la planta en su mayoría es hidráulico, con un sistema de bombeo para el sector ubicado hacia el norte de la planta, de operación manual. Como se observa en la figura 1 la planta está constituida por:

- Estructura de siete gradas para proceso de aireación.
- Vertedero rectangular para aforo de caudal

- Dos unidades de dosificación de tipo seco y mezcla rápida por resalto hidráulico

- 4 líneas iguales que corresponden a:
 - Floculador con 3 cámaras de flujo horizontal, en total existen 4 cámaras de floculación.

 - Sedimentador convencional seguido de uno de alta tasa con placas inclinadas, existen en total 4 sedimentadores.

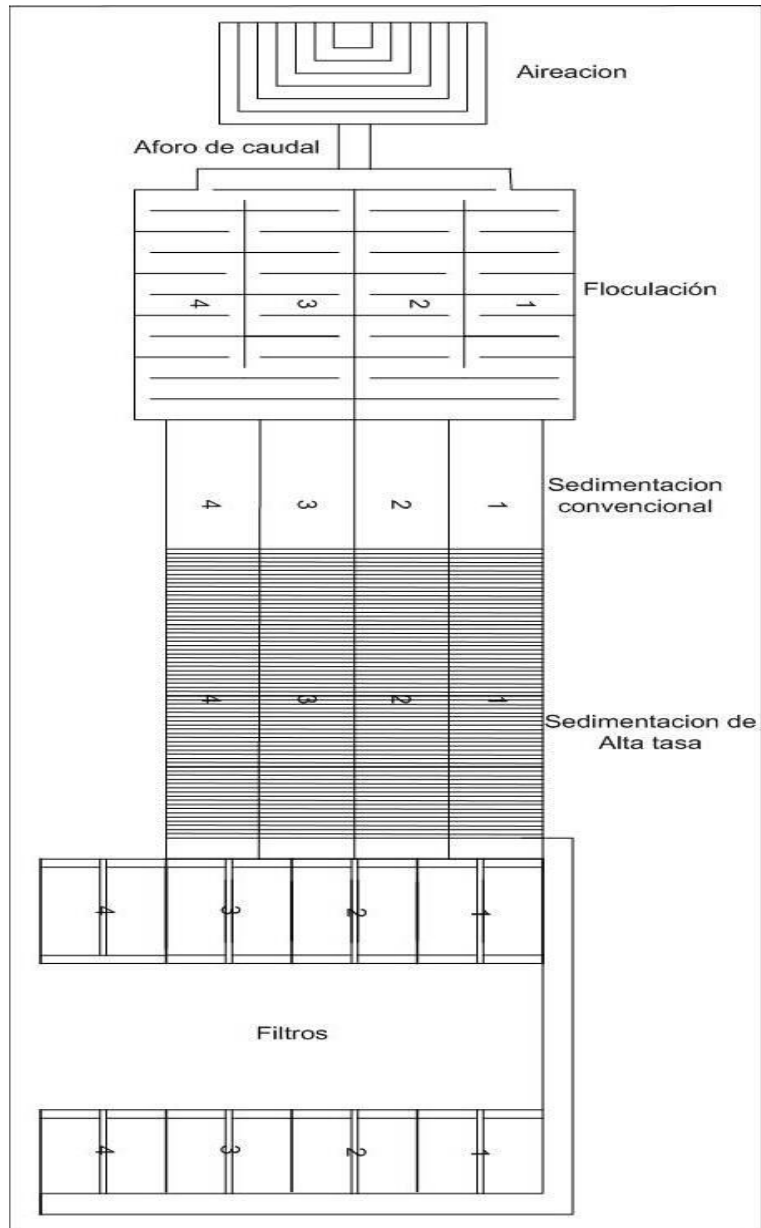
 - Filtración, filtros rápidos a gravedad, con lecho mixto de arena y antracita para un total de 8 unidades de filtrado rápido.

 - Desinfección con cloro gaseoso y dosificación de cal para ajuste de pH.

 - Sistema de bombeo

 - 3 tanques de almacenamiento.[10]

Figura 1 Esquema de la planta de tratamiento El Tablazo



Fuente: Estudio de factibilidad de implementación del policloruro de aluminio como sustituto del sulfato de aluminio tipo b, en la planta de tratamiento "El Tablazo" de Popayán, Ingeniería ambiental, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia.

2.1 Misión y visión de la empresa

2.1.1 Misión La misión de la SOCIEDAD ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE POPAYÁN S.A - ESP es la de satisfacer oportuna y eficientemente las necesidades básicas de provisión de agua potable y disposición de aguas servidas, mediante la prestación directa de estos servicios, garantizando calidad, cantidad y continuidad a la totalidad de la población que lo demande. [12]

2.1.2 Visión La Visión de la SOCIEDAD ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE POPAYÁN S.A. E. S. P., sustentada en la filosofía de la calidad y mejoramiento continuo, dirigirá todas sus acciones a satisfacer las expectativas de la población que lo demande, en lo que se refiere a la prestación de los servicios de acueducto y alcantarillado, fundamentada en los procesos de conservación ambiental. [12]

2.1.3 Políticas de la empresa La empresa Acueducto y Alcantarillado de Popayán no realiza diseño de nuevos servicios, ni de nuevos productos, teniendo en cuenta que para el caso del producto es agua tratada, su servicio colocarla a disposición en los predios y para alcantarillado el servicio de manejo de aguas servidas; para la producción y prestación de sus servicios, se diseñaron en una sola ocasión los sistemas de captación, plantas de tratamiento, redes de distribución y recolección de aguas servidas; la construcción de estos diseños pasaron a ser parte de la infraestructura de la empresa y en la actualidad ellos se conservan; se presentan mejoras que se consideran en los procesos de mantenimiento en el requisito de infraestructura.

2.1.4 Entes externos A continuación se presenta la relación de la empresa con los entes externos propuestos en la tabla 6 del capítulo 2.

Clientes. Son las personas de la ciudad de Popayán y el uso que se le da al agua esta caracterizado como de uso residencial, comercial, industrial y oficial

Estado. El acueducto de Popayán debe cumplir con los lineamientos de la resolución 2125 de 2007 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Esta resolución debe ser tenida en cuenta para asegurar que el producto, en este caso el agua potable, cumple con los requisitos de calidad impuestos por el estado.

Proveedores El sulfato de aluminio, el gas cloro y la cal viva son suministrados por la empresa COLQUIMICA de la ciudad de Cali, Valle del Cauca, por lo cual al precio del material se el debe agregar el valor del transporte desde esa ciudad.

2.1.5 Capacidad y demanda. La planta El Tablazo fue puesta en servicio en 1958 y optimizado en 1988, aporta el 90 % del total del sistema de agua tratada para la ciudad de Popayán, y trabaja por gravedad para la zona baja de la ciudad y para la zona Norte de la planta de tratamiento mediante sistema de bombeo y rebombeo.

- **Fuente de abastecimiento:** Río Piedras, Río Pisojé y Río Cauca
- **Captación:** la bocatoma para el Río Piedras se localiza a 80,00 mts de su confluencia con el Río Cauca en una cota de 1890 msnm.
- **Presa vertedero:** la presa vertedero tiene una longitud de 16,20 mts y 1,80 mts de altura promedio, con captación de tipo lateral sobre la margen derecha del río. La salida al canal de conducción se hace mediante una compuerta de 24".
- **Capacidad diseñada:** la planta esta diseñada para captar y procesar 1050 l/s.
- **Capacidad actual:** se capta y procesa un promedio de 900 l/s.[13]

Demanda La demanda de la planta se hace a partir de los consumos de los usuarios de la planta El Tablazo y se presenta en la tabla 1.

Tabla 1 Demanda de la planta El Tablazo

Uso Residencial	Nº de Usuarios	Consumo(x1000m³)
Estrato 1	8.544	1.222
Estrato 2	16.519	2.750
Estrato 3	19.366	3.804
Estrato 4	6.523	1.333
Estrato 5	2.533	560
Estrato 6	512	141
Uso Oficial	258	1.589
Uso Comercial	3.672	1.016
Uso Industrial	12	106
Otros	61	106
TOTAL	58.000	12.627

Fuente: Acueducto y alcantarillado de Popayán S.A E.S.P, COLOMBIA, Manual para la construcción de redes, 2009.

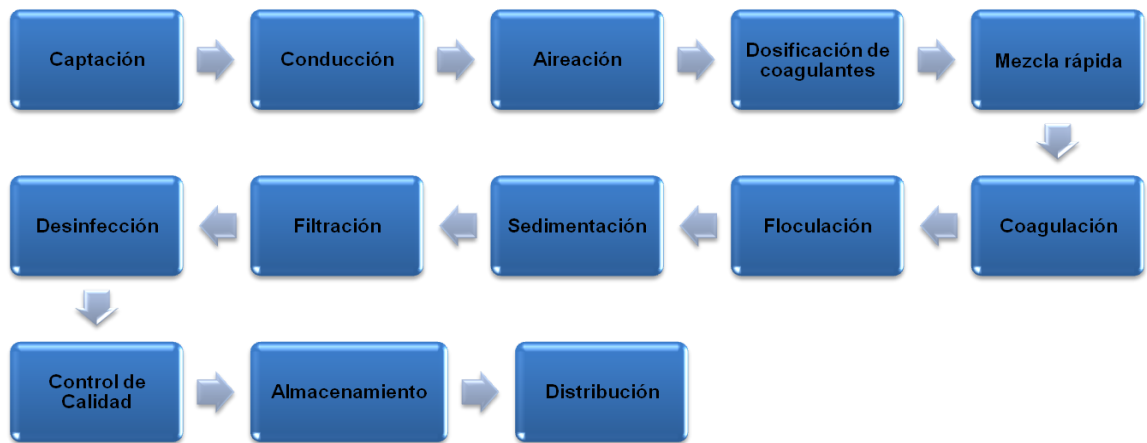
2.1.6 Descripción Del Proceso Productivo. Para poder eliminar los microorganismos y las sustancias químicas presentes en el agua, dañinas para la salud humana se deben realizar una serie de tratamientos, que evitan que el agua tenga color, olor y sabores desagradables, incluso disminuye el efecto corrosivo que causa sobre los utensilios de cocina, tuberías y cañerías, prolongando su tiempo de uso.

A las etapas del proceso de potabilización se han añadido dos etapas más que aunque no tienen relevancia para el tratamiento del agua, se deben tener en cuenta para la automatización de la planta. Las etapas de la planta se exponen en la figura 2.

La Planta De Tratamiento es el conjunto de estructuras, equipos y materiales necesarios para acondicionar el agua, usados para producir en ella los cambios físicos químicos y bacteriológicos necesarios para que sea potable.

La planta debe entregar la cantidad suficiente de agua para satisfacer las necesidades de los usuarios y esta debe ser de óptima calidad para el consumo humano.

Figura 2 Etapas del proceso de potabilización en la plana El Tablazo

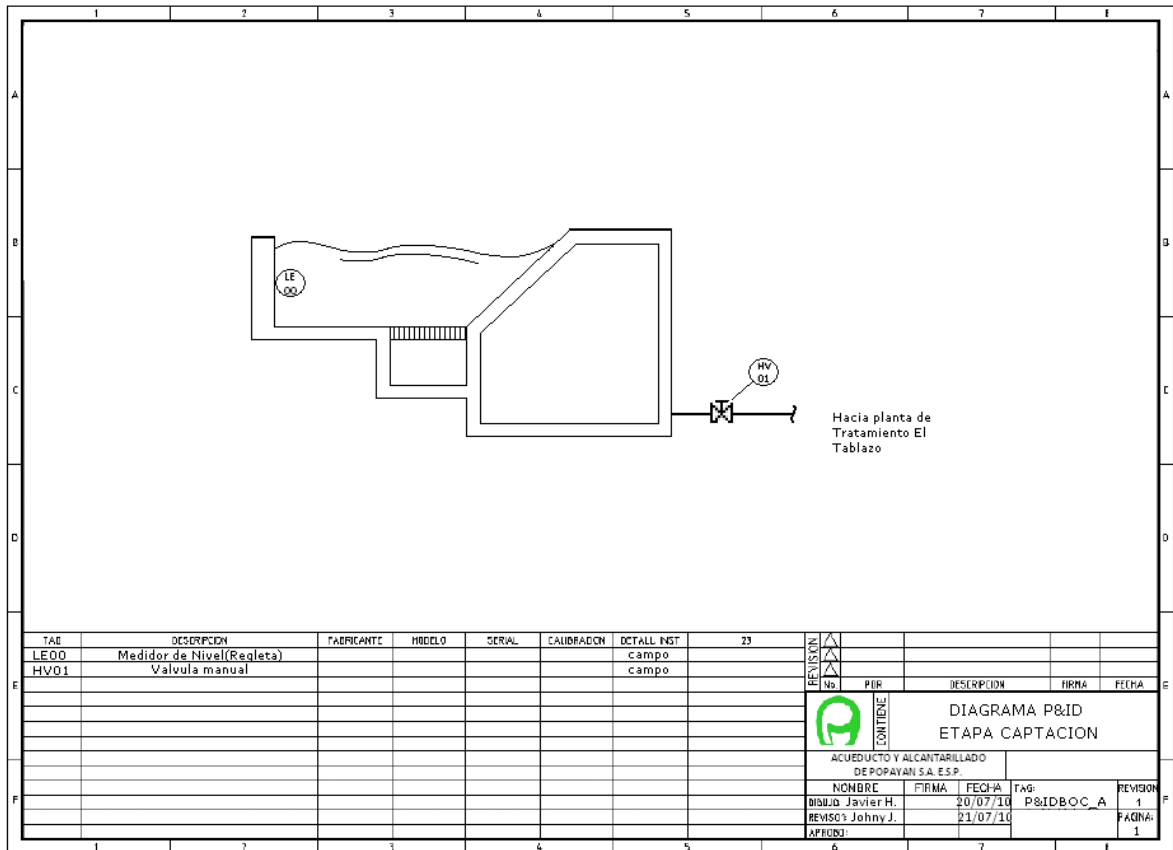


Fuente: elaboración propia, marzo 2010.

Captación. Es el proceso de tomar el agua de la fuente natural, en el caso de la planta de tratamiento el Tablazo las fuentes son: el Río Las Piedras, el Río Pisoje y el Río Cauca En la bocatoma se hace un represamiento del río, las compuertas que dan paso del agua desde el sitio de la captación se abren y transporta el agua por tuberías hacia la planta de tratamiento.

La bocatoma para el Río Piedras se localiza a 80,00 mts de su confluencia con el Río Cauca en una cota de 1890 msnm, esta diseñada para captar hasta 1800 Its/ses, y transportar y tratar un caudal de 900 l/s Actualmente capta un promedio de 760 l/s. La presa vertedero tiene una longitud de 16,20 mts y 1,80 mts de altura promedio, con captación de tipo lateral sobre la margen derecha del río. La salida al canal de conducción se hace mediante una compuerta de 24". Aducción entre la cámara de salida de la captación y el desarenador mediante canal en concreto de sección 0,50x1,00 m y 98,10 m de longitud; este canal entrega a un túnel revestido en concreto de sección 1,50x1,80 m y 132,50 m de longitud hasta los desarenadores. [13]

Figura 3 Diagrama P&ID actual bocatoma



Fuente: Elaboración propia, agosto de 2010.

Conducción. Es la etapa del proceso mediante la cual se conduce la materia prima desde el sitio donde se hace la captación hasta la planta de tratamiento. La conducción del agua se realiza por medio de tuberías de asbesto, cemento y túneles de concreto. Con capacidad entre 900 y 1050 l/s y con longitud de 7731,65 mts distribuidos en trece (13) tramos como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2 Tubería de conducción

Tramo	Longitud (m)	Diametro	Tipo de tubería
1.	1565,81	24"	A-C Clase 10
2.	514.96	24"	A-C Clase 10
3.	33.13	24"	A-C Clase 10
4.	354.9	1,20x1.00	Rectangular
5.	2495.16	1.00x1.60	Rectangular
6.	72.96	24"	A.C.C.P
7.	767,05	1.00x0.90	Rectangular

Tabla 2 (Continuación)

Tramo	Longitud (m)	Diametro	Tipo de tubería
8.	193,50	24"	A.C.C.P
9.	224.39	1,00x0,90	Rectangular
10.	90.42	1,45x0,90	Rectangular
11.	77,38	1,00x0,90	Rectangular
12.	884.00.	16",18" y 20"	A.C.C.P – A.C Clase 7.5
13.	458.00	1,00x0,90 – 24"	Rectangular – A.C Clase 6

Fuente: Acueducto y alcantarillado de Popayán S.A E.S.P, COLOMBIA, Manual para la construcción de redes, 2009.

La planta cuenta con dos cámaras de llegada. Sus características están expuestas en la tabla 3.

Tabla 3 Características de las cámaras de llegada

Cámara de llegada	Dimensiones	Desagüe
Antigua	3.00 x 2.50 x 1.20m	Tres compuertas laterales de 16"
Nueva	2.00 x 2.00 x 1.20 m	Tubería de 18"

Fuente: Acueducto y alcantarillado de Popayán S.A E.S.P, COLOMBIA, Manual para la construcción de redes, 2009.

Aireación. Esta es conocida también como purificación biológica aeróbica del agua, corresponde al proceso de la incorporación de oxígeno al agua, buscando establecer un contacto íntimo del aire con el agua. El agua al golpearse burbujea, presionando el aire a través de la superficie incorporando mayores cantidades de oxígeno. Los objetivos de este proceso son eliminar sustancias volátiles que producen olores y sabores indeseables en el producto, como el sulfuro de hidrógeno o el gas carbónico entre otras, así como oxidar el hierro y el manganeso para formar precipitados que pueden eliminarse en procesos subsecuentes como la filtración o sedimentación.

En la planta El Tablazo se hace a través de una estructura de siete gradas que tiene por finalidad reducir el hierro mediante oxidación si eventualmente se requiere captar agua del Río Cauca. Permite el ingreso hasta de 1200 l/s con una superficie de contacto de 39 m². [13]

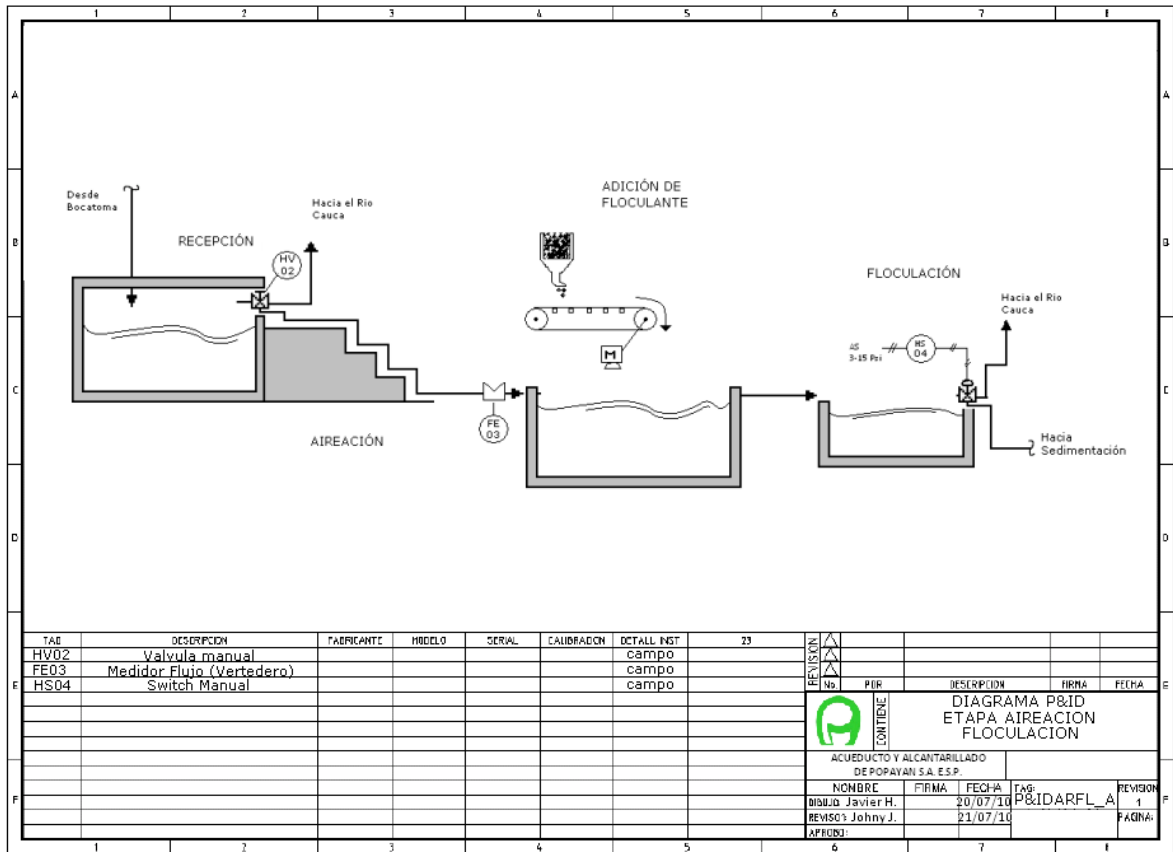
Dosificación de coagulantes. Con este proceso se busca eliminar del agua las partículas naturales en suspensión, causantes del color y la turbiedad, que además pueden conducir a la formación de capas apropiadas que sirvan de albergue a distintos patógenos. El coagulante que tiene una carga positiva que altera el comportamiento de las partículas que en suspensión tienen carga negativa y tienden a repelerse unas a otras, al incluirse el floculante estas se atraen al coagulante. Los coagulantes más usados son: sulfato de aluminio, sulfato férrico, alumbre de amonio, alumbre de potasa, sulfato ferroso.

El aforo de caudal –se realiza en vertedero rectangular en el canal de recolección del aireador (canal de entrada a la planta). Para la dosificación se cuenta con dos (2) unidades de dosificación (para el alumbre y para la cal) tipo seco, dotadas de tanques de solución incorporados al equipo. El área de dosificación de cal primaria y sulfato de aluminio se localiza en una edificación de dos (2) plantas contigua al vertedero de aforo; reparte por gravedad las soluciones de los productos químicos usando una maquina dosificadora para esta etapa.

La planta de tratamiento el Tablazo usa sulfato de aluminio en presentación solida, en bultos de 50 Kg, para su dosificación se usa una maquina en cuya tolva se carga el material. La coagulación depende fundamentalmente de las características del agua y de las partículas presentes, las mismas definen el valor de los parámetros tales como el pH, alcalinidad, color verdadero, turbiedad, temperatura, fuerza iónica, sólidos totales disueltos, tamaño y distribución de tamaños de las partículas en estado coloidal y en suspensión. [13]

Las cantidades que poco a poco se agregan al agua dependen en este punto del caudal, el pH, la turbiedad y el color del agua, la medida del caudal se hace conociendo las medidas del tanque en donde se adiciona y el nivel del agua por medio de una regleta, la turbiedad y el Ph se determina por un muestreo que realiza el operario.

Figura 4 Diagrama P&ID aireación y adición de floculantes actual



Fuente: Elaboración propia, agosto de 2010.

Mezcla rápida. Para lograr los gránulos de coagulante sólidos se disuelvan rápidamente en el agua se hace una agitación violenta del agua. Haciéndola pasar a través de unas compuertas pequeñas. Este proceso se efectúa en el resalto hidráulico generado por el vertedero de aforo con un gradiente de velocidad: 1800 seg-1 (para el caudal de diseño).

Coagulación. Es la desestabilización de las partículas suspendidas, es decir, la remoción de las fuerzas que las mantienen separadas. Este proceso se realiza con el fin de eliminar del agua la turbiedad, el color, las bacterias nocivas y otros organismos patógenos. La eliminación de todo esto produce un agua aceptable lista para la etapa de desinfección.

Floculación. Es un proceso de agitación suave y continua del agua con coagulantes con el propósito de que se facilite el contacto de las partículas con el coagulante y entre ellas para formar otras de mayor tamaño que puedan retirarse con mayor facilidad para remover sustancias coloidales orgánicas e inorgánicas, las cuales se aglutinan en pequeñas masas de peso específico superior al del agua llamadas FLOC. Esta agitación suave se logra al reducir la velocidad del agua haciéndola pasar a través de canales y mediante el golpe del agua contra las paredes del canal.

En la planta El Tablazo tiene las siguientes características. Dos unidades de floculación tipo hidráulico de flujo vertical. Cada zona de gradiente dividida en cinco compartimientos, para un total tres zonas de floculación. Las características hidráulicas de los floculadores están consignadas en la tabla 4.

Tabla 4 Características de los floculadores planta El Tablazo

Concepto	Unidad 1	Unidad 2	Unidad 3
Gradiente (s)	78	61	38
Velocidad media (m/s)	0.14	0.14	0.14
Tiempo de retención (s)	20	20	20

Fuente: Acueducto y alcantarillado de Popayán S.A E.S.P, COLOMBIA, Manual para la construcción de redes, 2009.

La salida del floculador entrega a un canal de 1,60x1,00 mts, y la entrada a los dos (2) sedimentadores se hace mediante un pasamuros de 30"

Sedimentación Es la remoción de partículas más pesadas que el agua por acción de la fuerza de gravedad que posteriormente se depositan en el fondo del tanque llamado sedimentador. Mediante este proceso se eliminan materiales en suspensión.

En la planta El Tablazo este proceso se efectúa mediante cuatro unidades de sedimentación acelerada, cada una constituida por dos cámara iguales de 8.00x38.00 mts Con profundidad promedio útil de 3.85 m y velocidad horizontal del agua 0.18 m/s. La entrada a los filtros se efectúa por un canal de 1.00x0.85 mts y capacidad de

transporte de 525 l/s La recolección de agua sedimentada en cada unidad se hace mediante seis tuberías de PVC de 12", con huecos de W [13]

Filtración. Es el paso del agua a través de un medio poroso, utilizado para eliminar las partículas suspendidas en ésta como limo, arcilla, algas, bacterias, virus y coloides que no sedimentaron. La filtración de arena es frecuentemente usada y es un método muy robusto para eliminar los sólidos suspendidos en el agua. El medio de filtración consiste en múltiples capas de arenas con variedad en el tamaño y gravedad específica. La filtración es el proceso principal en una planta de tratamiento

Existen en la planta ocho (8) unidades de filtración de dos (2) celdas cada una. con Filtros rápidos a gravedad, con lecho mixto de arena y antracita. Los falsos fondos están conformados por viguetas prefabricadas en V.

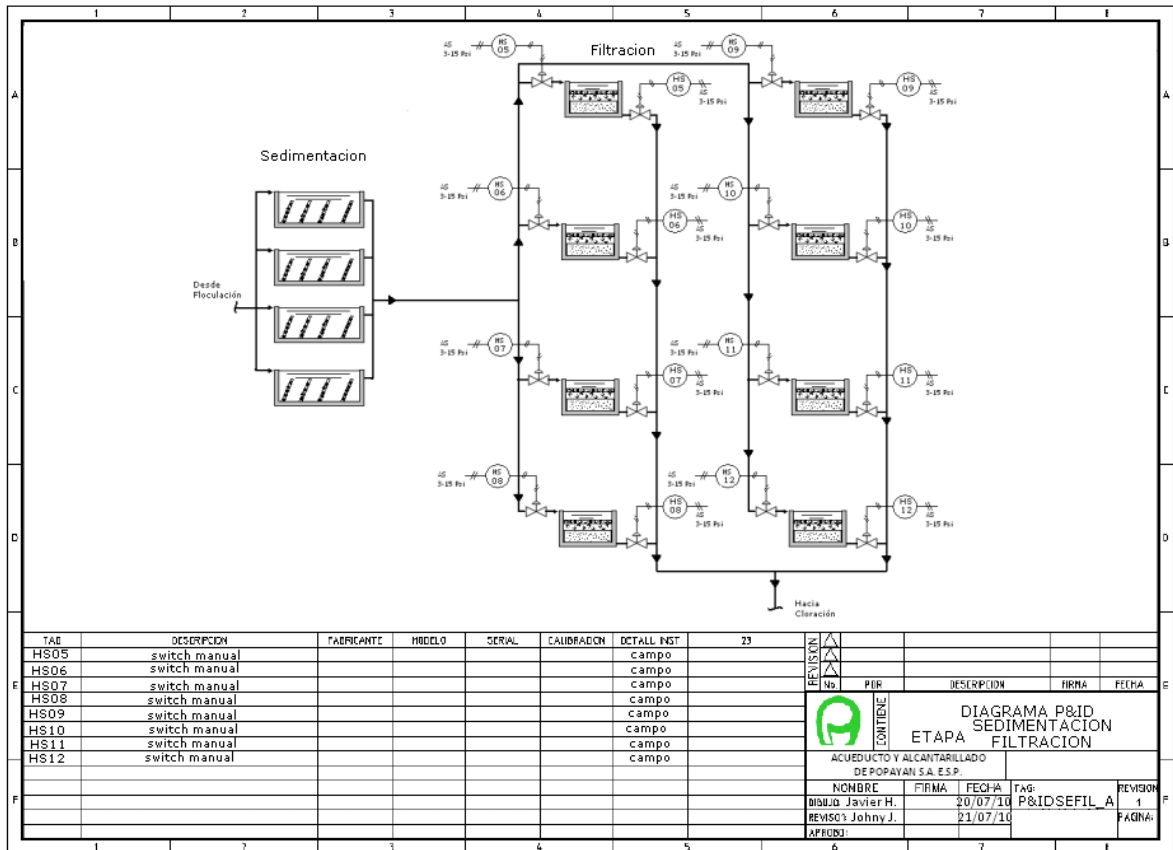
Tabla 5 Características de filtros en la planta El Tablazo

Característica	Valor
Área total de filtración	363.00 m ²
Tasa de filtración	250 m ³ /dia
Lecho Filtrante	0.28 m de grava, 5 capas de diferente granulometría.
Medio Filtrante	0.20 m de arena y 0.45 m de antracita.

Fuente: Acueducto y alcantarillado de Popayán S.A E.S.P, COLOMBIA, Manual para la construcción de redes, 2009.

Cada unidad de filtración dispone de cuatro canaletas que recogen el agua de lavado, entregando a un canal central que drena por tubería de 16" al canal general, de 1.20x0.80 mts, localizado bajo la galería de conductos La interconexión entre la salida de los filtros y los tanques de almacenamiento se hace mediante un canal cubierto de 0.8 5x0.80mts y de 159.00 mts de longitud, y de una tubería de hormigón reforzado de 36"

Figura 5 Diagrama P&ID filtración actual



Fuente: Elaboración propia, agosto de 2010.

Desinfección o cloración. Este es el procedimiento más usado con el fin de desinfectar el agua, por su sencillez y bajo costo. Consiste en la aplicación directa al agua de sustancias químicas como el gas cloro para las plantas de tratamiento grandes o algunos de sus derivados tales como los hipocloritos de sodio o de calcio en el caso de instalaciones de mediana o pequeña capacidad.

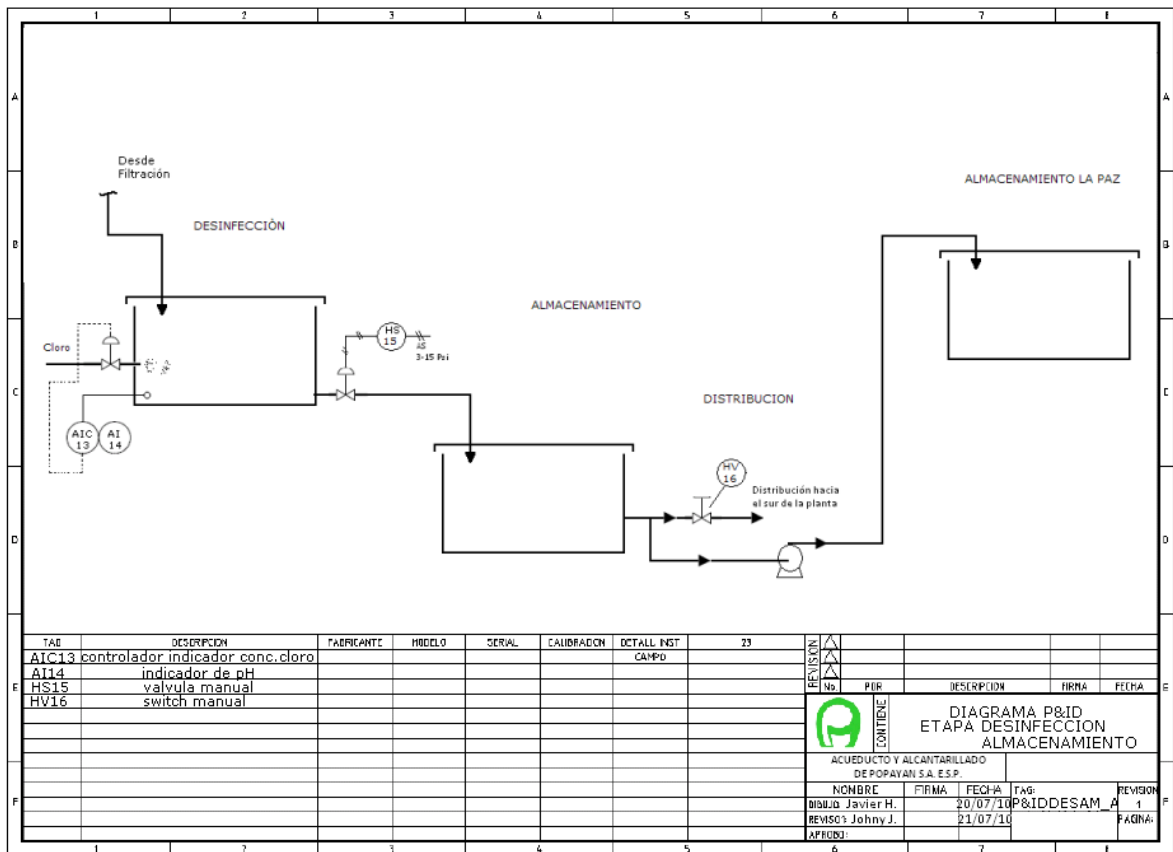
El objetivo de este proceso es destruir pequeños organismos dañinos presentes en el agua como las bacterias o las amebas, para eliminar de ella los agentes patógenos capaces de producir infecciones o enfermedades en el organismo. Además impide que algas y hongos proliferen en las tuberías y depósitos de almacenamiento.

El cloro puede aplicarse como gas o como solución, ya sea solo o con otras sustancias químicas, la cantidad se regula mediante aparatos especiales llamados cloradores y su control es muy importante pues si se sobrepasa ciertas cantidades de cloro, llamado punto mínimo de cloro, se habla de cloración crítica que es dañina para la salud de los consumidores, causando irritaciones en el sistema respiratorio que pueden producir quemaduras y llegar a ser causante de enfermedades como el cáncer.

El tiempo mínimo de reacción del cloro debe ser de 10 a 15 min. Aunque es preferible dejar transcurrir varias horas para garantizar la desinfección efectiva. Las reglamentaciones especifican valores máximos de concentración de cloro que varían según los niveles de acidez (pH) del agua (del orden de 1 mg/l para pH de 6.5 a 7, a 1.8 mg/l para pH de 8 a 9).

De acuerdo a la medida del pH se hace necesario agregar cal hidratada al agua desinfectada. En la planta El Tablazo Se cuenta con dos unidades de cloración y seis tanques de cloro gaseoso de 1 Tonelada. El cloro se aplica por contacto a la salida de los filtros en el canal que comunica a los tanques de almacenamiento. La cal secundaria se aplica mediante dos dosificadores de cal tipo seco, que actúan en forma alterna.

Figura 6 Diagrama P&ID cloración y almacenamiento actual



Fuente: Elaboración propia, Agosto de 2010.

Control de calidad. Para este proceso se realizan análisis físico – químicos mediante examen bacteriológico en laboratorio para determinar la calidad del agua para establecer la presencia de coliformes. En la planta esta localizado en el primer piso del edificio existente, adyacente a la zona de los filtros. Cuenta con todos los equipo para una adecuada operación el laboratorio para agua potable. [13]

Almacenamiento. Tras el proceso de potabilización el agua tratada, ésta se almacena en tanques para su posterior distribución, donde se debe mantener condiciones de temperatura y de nivel, para el buen funcionamiento del resto del sistema.

Junto a la planta existen tres unidades de almacenamiento, cuya cota de servicio es 1799,00 m.s.n.m. En la ciudadela La Paz, al Norte de la planta, se localiza un tanque cuya cota es la 1860,00 m.s.n.m., y se alimenta por bombeo desde la planta El Tablazo

Tabla 6 Capacidad de almacenamiento

Ubicación	Tanque	Capacidad
El Tablazo	1	1500 m ³
	2	1500 m ³
	3	4000 m ³
La Paz	1	1500 m ³
	2	1500 m ³

Fuente: Acueducto y alcantarillado de Popayán S.A E.S.P, COLOMBIA, Manual para la construcción de redes, 2009.

Pasos del proceso de potabilización de agua

- **Paso 1:** el agua cruda (materia prima) proveniente del río es represada.
- **Paso 2:** el agua cruda es desviada y conducida hacia un canal.
- **Paso 3:** el canal envía el agua cruda hacia una rejilla que retiene materiales de gran tamaño (ramas, rocas, peces).
- **Paso 4:** el agua cruda que viene por el canal y que pasó por la rejilla es conducida hacia un desarenador que hace que la arena que viene con el agua se deposite en el fondo.
- **Paso 5:** el agua es enviada por gravedad en tuberías hacia la planta de tratamiento.
- **Paso 6:** el agua proveniente de la bocatoma se receptiona en una recámara que tiene dos compuertas, una dirige el agua hacia la planta y la otra dirige el agua de vuelta al río. Dependiendo de la demanda en la planta se regula la apertura de estas compuertas.
- **Paso 7:** el agua cruda que ha pasado a la planta es conducida en caída libre hacia una estructura formada por gradas que hacen que el agua se oxigene y elimine gas carbónico y sustancias volátiles.

- **Paso 8:** el agua que se encuentra en la parte inferior de las gradas es conducida por un canal que la lleva hacia una rejilla que retiene objetos (ramas, troncos, hojas) para evitar que pasen al resto del proceso.
- **Paso 9:** el agua cruda después de la rejilla sigue por el canal donde se le agrega coagulante de acuerdo al caudal, el Ph y la turbiedad estas dos últimas son medidas mediante ensayo de jarras.
- **Paso 10:** la mezcla de agua con coagulante es conducida hacia un canal en donde se hace una mezcla rápida mediante agitación, produciendo que el coagulante se combine completamente con el agua pasando posteriormente a una parte lenta del canal que permite la formación de flocs.
- **Paso 11:** los flocs se acumulan en la zona final del canal y son retirados por un operario.
- **Paso 12:** el agua sin flocs pasa a unos tanques (o piscinas) donde reposa y permite la sedimentación de materiales contenidos en el agua.
- **Paso 13:** el agua que sale de los tanques de sedimentación es conducida hacia tanques con filtros (grava y arena básicamente) por donde circula por efecto de la gravedad eliminando partículas suspendidas como limo, arcilla, algas, virus y coloides que no sedimentaron.
- **Paso 14:** el agua que ha pasado por el filtro es conducida por tuberías hacia los tanques de desinfección donde se adiciona cloro, la medida de la dosis depende de la cantidad de cloro residual que se desea dejar y del Ph del agua.
- **Paso 15:** el agua desinfectada es llevada hacia unos tanques donde se le almacena.
- **Paso 16:** El agua almacenada es enviada a la ciudad por medio de tuberías para el consumo de los habitantes. Para cubrir la demanda al norte de la planta el agua es bombeada hacia tanques de almacenamiento ubicados en el SENA y que se encargan de cubrir ese sector.

2.1.4 Lista de equipos necesarios para la ejecución del proceso. A continuación se realiza un listado con los equipos instalados en la actualidad y con los cuales se realiza el proceso de potabilización de agua en la planta El Tablazo.

Tabla 7 Lista de equipos del proceso planta El Tablazo.

Etapa Del Proceso	Equipos
Captación	Bocatoma Rejilla Desarenador Válvula de salida
Aireación	Válvulas de paso Cámara de recepción Escalones de Aireación Rejilla de retención
Floculación	Maquina Dosificadora Cámara de Mezcla rápida Canal de agitación suave
Sedimentación	Tanque de Sedimentación
Filtración	Tanque de filtración
Desinfección	Tanque desinfección Sensores de Ph, concentración de cloro y temperatura Dosificador de cloro
Almacenamiento	Tanque de Almacenamiento
Distribución	Motobombas Tanque

Fuente: Elaboración propia, marzo de 2010.

2.1.5 Información del proceso. En la segunda fase del modelo de planeación propuesto, se sugiere recoger además la siguiente información expuesta en la tabla 7.

Tabla 8 Información de la planta El Tablazo

Información	Descripción
Personal encargado de la planta	Se cuenta con el siguiente personal para la operación de la planta: <ul style="list-style-type: none"> • 3 operarios para el control y la supervisión en turnos de 8 horas. • 1 operario por bocatoma • 1 operario de tanques SENA • 1 jefe de producción planta El Tablazo • 1 bacterióloga. • 1 jefe de división de tratamiento. • 1 auxiliar de laboratorio.

Tabla 8 (Continuación)

Información	Descripción
Definición del tipo de proceso	Según la definición proporcionada por el estándar ISA88 y después de realizar la descripción del proceso productivo, se puede concluir que el proceso de potabilización de agua se caracteriza como un proceso de tipo continuo. Esto se establece al observar que el flujo de material es constante y el tratamiento del agua no depende directamente del tiempo.
Nivel de automatización	En el momento la operación de la planta se realiza manualmente. Y su nivel de automatización es nulo en los niveles 0, 1 y 2

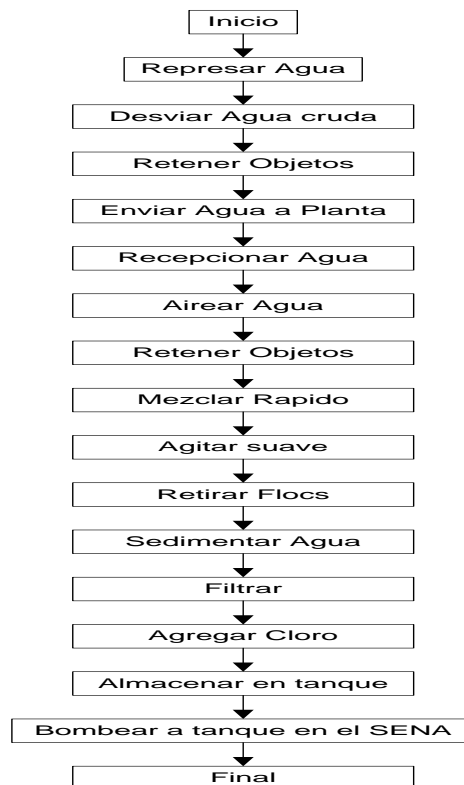
Fuente: Elaboración propia, marzo de 2010.

ANEXO 3 MODELAMIENTO DE LA INFORMACIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO DE LA PLANTA EL TABLAZO

En el modelo de planeación para proyectos de automatización, se propone la realización de una serie de modelos mediante los cuales se espera modelar la información que corresponde al proceso productivo. A continuación se muestran los modelos correspondientes para el proceso de potabilización de la planta El Tablazo.

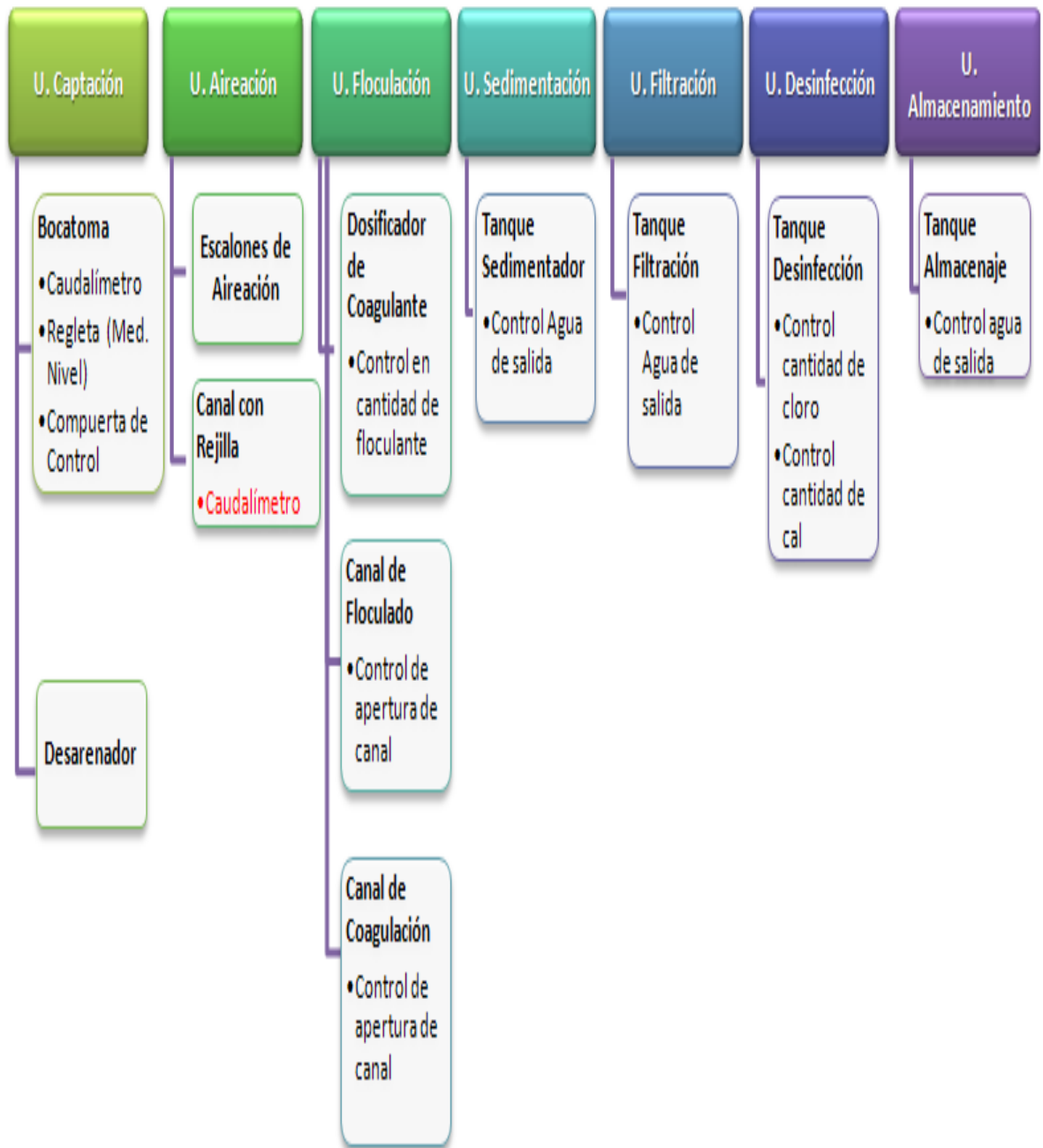
3.1 Diagrama de Bloques

Figura 7 Diagrama de Bloques



Fuente: Elaboración Propia, abril de 2010.

3.2 Modelo Físico



Fuente: Elaboración propia, mayo de 2010

3.3 modelo de control procedimental

Tabla 9 Modelo de control procedimental

	Procedimiento de Unidad	Operación	Fase
Potabilizar Agua Cruda	Captar Agua Cruda	Desviar Cauce	Accionar compuerta de entrada
		Retener Objetos	Hacer pasar el agua cruda a través de rejilla
		Medir Caudal	Observar regleta
			Registrar Medición
	Desarenar	Conducir Agua al desarenador	
	Airear Agua Cruda	Recepcionar Agua Cruda	Medir caudal
			Comparar con Valor Deseado
			Controlar válvula de paso a planta
		Oxigenar	Verter el agua sobre los escalones
	Retener Objetos	Conducir agua hacia rejilla	
	Flocular	Dosificar Coagulante	Medir y registrar Caudal y Turbiedad
			Calcular cantidad de coagulante
			Graduar salida de coagulante
			Conducir agua hacia tanque Mezcla Rápida
		Coagular	Circular agua por canales de agitación
			Retirar Flocs
	Sedimentar	Llenar Tanque Sedimentador	Cerrar válvula de salida
			Abrir válvula de ingreso
			Medir nivel del sedimentador
			Comparar nivel con nivel normal de operación
			Cerrar válvula de ingreso
		Reposar Agua	Cerrar válvula de ingreso de Agua
			Observar perdidas de floculos en el desagüe
Retirar material floculante			
Medir altura de lodos			
Filtrar	Acondicionar Filtro	Cerrar válvula de salida	
		Cerrar válvula de drenaje	
		Calibrar válvula reguladora de caudal	
		Abrir válvula de lavado	
		Controlar nivel de agua de lavado	
	Circular agua por el filtro	Abrir válvula de paso de agua filtrada	
		Abrir válvula de salida	

Tabla 9 (Continuación)

	Procedimiento de Unidad	Operación	Fase
Potabilizar Agua Cruda	Desinfectar	Enviar agua a tanque desinfección	Abrir válvula de paso de agua filtrada
		Aplicar Cloro	Abrir válvula de regulación de cloro
			Medir concentración de cloro
			Controlar cantidad de cloro residual
	Almacenar	Supervisar Nivel	
		Supervisar Temperatura	
	Distribución	Enviar agua al norte de la Planta	Medir Nivel tanque SENA
			Bombear agua hacia el tanque SENA
			Controlar Nivel tanque
		Enviar agua al sur de la planta	Medir Caudal
Controlar Válvula de salida			

Fuente: Elaboración propia, mayo de 2010.

3.4 Modelo de proceso

Tabla 10 Modelo de proceso

	Etapa de proceso	Operación	Acción
Potabilización de Agua	Captación	Desviación del Agua	Activación de Compuerta de paso de agua
		Retención de Objetos	Conducción de agua a través de rejilla
		Desarenado	Conducción del agua hacia desarenador
	Aireación	Regulación de entrada de agua	Activación de válvula de paso de agua hacia la planta
		Oxigenación	Verter agua en los escalones
		Retención de grandes sólidos	Conducción de agua hacia rejilla
	Floculación	Dosificación de coagulante	Llenar tolva dosificadora con coagulante
			Conducir agua hacia cámara de mezcla rápida
			Aplicación de coagulante al agua

Tabla 10 (continuación)

Potabilizar Agua Cruda	Etapa de proceso	Operación	Acción
		Coagulación	Circulación de agua por canales de agitación
			Retiro de flocs
	Sedimentación	Ingreso de agua al tanque	Apertura de compuerta
		Reposo	Cerrar compuerta de salida
			Cerrar compuerta de entrada
	Filtración	Acondicionamiento del filtro	Llenado de filtro con agua de lavado hasta 50 cm
		Circulación de agua	Ingreso de agua proveniente del sedimentador
			Desagüe hasta nivel de operación
			Detener Desagüe
			Salida de agua hacia tanque de desinfección
	Desinfección	Llenado de tanque	Apertura de válvula de ingreso
Aplicación de Cloro		Limpieza del sistema de distribución	
		Dosificación y aplicación de cloro dentro del tanque	
Almacenamiento	Llenado de tanque	Apertura de válvula de ingreso	
Distribución	Distribución hacia el Norte	Bombeo de Agua hacia Tanque norte	
	Distribución hacia el Sur	Apertura de válvula de salida hacia el sur de la ciudad	

Fuente: Elaboración propia, mayo de 2010.

ANEXO 4 INFORMACIÓN PARA LA CALIFICACIÓN DE LOS PROBLEMAS IDENTIFICADOS EN LA PLANTA EL TABLAZO

Tabla 11 Información problemas planta El Tablazo

Índice	Localización	Descripción	Característica optima	Impacto económico	Alcance de la solución	Tiempo de implementación	Factibilidad técnica
A	Tanques de sedimentación	Posible rebosamiento de tanques de sedimentación.	Nivel de sedimentadores igual o inferior a 3.85m	Perdida aproximadas por rebose de los tanques: \$ 3.527.585	<ul style="list-style-type: none"> • Control indirecto del caudal de entrada. • Control indirecto de los tanques de cloración y almacenamiento 	Aproximado de 3 meses	Las posibles tecnologías con las cuales se puede dar solución se encuentran disponibles en el mercado local
B	Floculación	Desperdicio de floculante por mala dosificación.	Dosis óptima de 20mg/L para pH entre 4 y 8.	Perdidas aproximadas por mala dosificación: \$ 1.744.183	<ul style="list-style-type: none"> • Disminución de los desplazamientos de los operarios. • Mejoramiento en la calidad del agua • Disminución del uso de otros insumos 	Aproximado de 1 mes	Las posibles tecnologías con las cuales se puede dar solución se encuentran disponibles en el mercado local se requiere conocer los parámetros históricos del funcionamiento de esta parte del proceso.

Tabla 11 (Continuación)

Índice	Localización	Descripción	Característica optima	Impacto económico	Alcance de la solución	Tiempo de implementación	Factibilidad técnica
C	Bocatoma	Cambios bruscos de parámetros de control sin previo aviso.	Nivel inferior a 1.80 m Caudal máximo de salida 900 l/s Turbiedad ≥ 4	Perdidas aproximadas por condiciones inesperadas: \$324.646	<ul style="list-style-type: none"> Disminución de los desplazamientos de los operarios. Mejoramiento de la calidad del producto final. Incremento en la eficiencia de la dosificación de coagulante 	Aproximado de 2 meses	Las posibles tecnologías para la solución no se encuentran con facilidad en el país. Por tanto es mas difícil acceder a el servicio post venta.
D	Cloración	No hay supervisión en la adición de cloro.	Dosis optima de 1 mg/l para pH de 6.5 a 7, a 1.8 mg/l para pH de 8 a 9	Perdidas aproximadas por mala dosificación: \$ 1.458.756	<ul style="list-style-type: none"> Disminución de los desplazamientos de los operarios 	Aproximado 1 mes	Las posibles tecnologías con las cuales se puede dar solución se encuentran disponibles en el mercado local
E	Planta en general	No se tiene control, centralizado y eficaz de la planta.	Supervisión centralizada sin desplazamientos por toda la planta	Disminución en costos por accidentes y ausentismo laboral	<ul style="list-style-type: none"> Incremento en la seguridad de la planta. Disminución de cargas laborales. Identificación rápida de problemas de producción. 	Aproximado de 6 meses.	Las posibles tecnologías con las cuales se puede dar solución se encuentran disponibles en el mercado local

Índice	Localización	Descripción	Característica optima	Impacto económico	Alcance de la solución	Tiempo de implementación	Factibilidad técnica
F	Sistemas de información	Los reportes diarios del rendimiento de la planta son hechos por escrito y luego son pasados a un computador con perdidas de información.	Reportes automáticos en tiempo real	No se puede determinar	<ul style="list-style-type: none"> • Planeación efectiva de la producción • Manejo de eficiencia de la productividad • Manejo eficiente de la calidad del producto final 	Aproximadamente 6 meses	Las posibles tecnologías con las cuales se puede dar solución se encuentran disponibles en el mercado local
H	Coagulación	El lavado de floculadores se hace de forma manual.	Lavado automático	No existen perdidas mediante el procedimiento actual.	<ul style="list-style-type: none"> • Disminución de cargas laborales. • Disminución de los desplazamientos de los operarios • Incremento en la seguridad de las motobombas. 	Aproximadamente 3 meses	Las posibles tecnologías con las cuales se puede dar solución se encuentran disponibles en el mercado local

Índice	Localización	Descripción	Característica optima	Impacto económico	Alcance de la solución	Tiempo de implementación	Factibilidad técnica
I	Distribución	Posibles averías en motobombas por ausencia de fase o arranque en vacío. Niveles de tanques de almacenamiento asistido por operario	110 V con respecto a neutro en cada fase. Tanque 1 ≤ 1500m ³ Tanque 2 ≤ 1500m ³ Tanque 3 ≤ 4000m ³ Tanque 1 La Paz ≤ 1500m ³ Tanque 2 La Paz ≤ 1500m ³	Perdidas por avería en motobombas Perdidas por falta de abastecimiento al sector norte	<ul style="list-style-type: none"> Disminución de los desplazamientos de los operarios Disminución en costos de mantenimiento correctivo. Aseguramiento del abastecimiento de tanques por fuera de la planta. Control de nivel de tanques de almacenamiento. 	Aproximado de 3 meses	Las posibles tecnologías para la solución no se encuentran con facilidad en el país. Por tanto es más difícil acceder a el servicio post venta.
J	Planta en general	Alta incidencia de descargas eléctricas en el sector donde se encuentra la planta.	Diversos puntos de puesta a tierra.	Perdidas en dispositivos eléctricos y electrónicos de control.	<ul style="list-style-type: none"> Incremento en la seguridad de la planta. Aumento de la vida útil de los equipos 	Aproximado de 3 meses.	Las posibles tecnologías con las cuales se puede dar solución se encuentran disponibles en el mercado local

ANEXO 5 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

OPERACION FUNCIONAL

Tabla 12 Lazos de regulación

	Lazo	Descripción
Lazos de regulación: el sistema deberá manejar, un lazo de regulación y seguimiento a través de PID para el control de las siguientes variables	Caudal	En las etapas de captación, aireación, y en los tanques de almacenamiento
	Nivel	En bocatoma, tanques de sedimentación, de filtración, de desinfección, de almacenamiento en planta y el tanque ubicado en el SENA.
	Concentración de cloro	En el tanque de desinfección, de acuerdo con la cantidad de agua presente.
	Turbidez	El sistema actuará sobre la turbidez del agua en la etapa de floculación, mediante la dosificación de coagulante de acuerdo al valor de turbidez.

Fuente: Elaboración propia, agosto de 2010.

Tabla 13 Control en línea

	Variable	Ubicación en planta
Control en línea: el sistema contará con una serie de secuencias para que la planta funcione de manera continua por medio del monitoreo de variables y estados. Se monitorearán las siguientes variables	Turbidez	En la etapa de captación, en la etapa de floculación y tanque almacenamiento.
	pH	En la etapa de floculación y desinfección
	Concentración de Cloro	En el tanque de almacenamiento
	Caudal	A la entrada de la etapa de floculación
	Temperatura	Tanques de cloración, Tanques de almacenamiento
	Nivel	En captación, en sedimentación y en tanques de almacenamiento de la planta y el SENA

Fuente: Elaboración propia, agosto de 2010.

Tabla 14 Estados a monitorear

	Estado	Posición
Estados a monitorear: se debe tener un monitoreo constante sobre las siguientes	Posiciones de las	De entrada de agua cruda a la planta (etapa de aireación), de entrada tanque de cloración (etapa de

variables y estados del proceso.	electroválvulas	desinfección), de paso hacia los tanques de almacenamiento, de salida de los tanques de almacenamiento hacia el sistema de distribución
	Estado de las motobombas	En que condición se encuentran las motobombas (Apagadas, Encendidas, en Fallo)
	Presencia de Fase	Para los motores de las motobombas que envían el agua al norte de la ciudad
	Indicador de Vacío	Indicador de presencia de agua para el arranque de las motobombas que envían el agua hacia el norte de la ciudad.

Fuente: Elaboración propia, agosto de 2010.

DESCRIPCIÓN DE LAS INTERFASES DEL OPERADOR.

Se crearán diferentes perfiles de acceso, los cuales contarán con identificación y clave, con el fin de controlar que personas sin la adecuada capacitación cambien los valores de las consignas del proceso o que lleven la planta a un estado indeseable. Se llevará un registro en una base de datos de las operaciones realizadas sobre el proceso, que registrará el nombre y la hora del usuario que realizó los cambios.

Los equipos de la bocatoma enviarán todos los datos que se estén midiendo a la estación central ubicada en las oficinas de la planta El Tablazo.

En la etapa de adición de floculantes, HMI permitirá observar las diferentes variables medidas en esta etapa, dentro del menú a desplegar en la pantalla se deben poder consultar gráficos que muestran los cambios de las variables durante la duración del turno. En esta misma pantalla se mostrará el estado de las bombas dosificadoras y se podrán cambiar algunos de los parámetros de su control. Los datos que se observen en dicha pantalla así como el estado de las bombas dosificadoras de coagulantes serán enviados a la sala de supervisión central. Los datos sobre las cantidades de material floculante también pueden ser consultados en esta HMI.

Ubicados en esta misma etapa se tendrá acceso a dos botoneras. Una de ellas estará ubicada cerca de la maquina dosificadora y servirá para hacer operar las bombas en marcha forzada, la otra botonera está ubicada en la entrada de la sala de floculación y servirá para forzar las posiciones de las servoválvulas de la etapa de aireación que se encuentra cerca de la etapa de floculación.

Para forzar las posiciones de las válvulas que se encuentran ubicadas en las etapas de sedimentación, filtración y cloración se ubicara un control de botoneras en el área donde actualmente se operan las válvulas neumáticas que dan paso del agua desde los filtros hacia la etapa de cloración.

En el cuarto de máquinas desde donde se operan las motobombas que envían el agua hacia los tanques de almacenamiento en el norte de la ciudad, existirán indicadores de presencia de fase, esto con el fin de incrementar la seguridad del arranque de los motores, y de esta manera evitar que se averíe cualquiera de estos. Este tipo de motobombas no se deben arrancar en vacío, existirán indicadores que muestren esta situación y alerten al operario en caso de que se desee operar manualmente el motor. En dicho cuarto de máquinas existirá un panel de control que tendrá botones de enclavamiento mecánico con indicadores de luz para forzar la marcha de los motores.

Atributos de los sistemas computarizados. Se usarán los siguientes colores para denotar los diferentes estados del sistema y su uso esta descrito en la tabla 38:

Tabla 15 Atributos del sistema computarizado

Color	Uso
Azul	Cuando el elemento este inactivo
Verde	Cuando el elemento este activo
Rojo	El elemento se encuentra en condición de falla.

Fuente: Elaboración propia, agosto de 2010.

Cada etapa del proceso se denotará por un color diferente, de esta manera las alarmas se diferenciarán de acuerdo a la escala de colores.

Valores a desplegar. Los valores que los usuarios requieren visualizar en el sistema de supervisión con el fin de observar los cambios del proceso se encuentran listados en la tabla 39.

Tabla 16 Valores a desplegar en el sistema de supervisión

Variable	Unidades	Valor a desplegar	Elemento
Turbidez	NTU (Unidades Nefelométricas)	5 cifras, una decimal	En bocatoma, tanque de dosificación de coagulantes, en tanque de cloración
Nivel	m (Metros)	3 cifras, una decimal	De bocatoma, de tanques sedimentadores, de tanques de filtración, tanques de almacenamiento
Caudal	m ³ /s (metros cúbicos por segundo)	4 cifras, una decimal	Salida de bocatoma, entrada aireación, entrada tanque de dosificación de coagulantes, de salida de tanques de almacenamiento
pH	pH(unidades de pH)	3 cifras, una decimal	Entrada tanque de dosificación de coagulantes, en tanque de cloración
Temperatura	°C (Grados centígrados)	3 cifras, una decimal	En tanques de cloración y almacenamiento
Concentración de cloro	ppm (partes por millón)	4 cifras, una decimal	Tanque de cloración
Presión	PSI (Libras por pulgada cuadrada)	4cifras, una decimal	Cilindros de Cloro
Voltaje	V (voltios)	4 cifras, una decimal	Fases de motores de las motobombas

Fuente: Elaboración propia, julio de 2010.

Dispositivos de entrada. La HMI de la etapa de floculación debe contar con una pantalla tipo touchscreen de 640 x 480 pixeles SVGA TFT. Dicha pantalla debe contar con al menos dos puertos USB que permitan la conexión de un mouse o un teclado en caso de daño del touchscreen.

Seguridad. Para poder brindar un entorno seguro de manejo en la planta, se sugiere la creación de tres perfiles de usuario, cada uno de ellos ofrecerá diferentes posibilidades de manejo creando niveles de seguridad para cada uno, en la tabla 40 se describe cada perfil y sus posibilidades de acceso al sistema en general:

Tabla 17 Seguridad del sistema de supervisión

Perfil	Nivel de seguridad	Descripción
Operador	Alto	<ul style="list-style-type: none"> • Acceso a todas las pantallas del sistema de supervisión • Cambio de consignas de control no críticas. • Acceso a pantallas de alarmas cuando han sido reconocidas. • Llevar el sistema a modo emergencia y restablecer.
Jefe de planta	Medio	<ul style="list-style-type: none"> • Mismas funciones de nivel anterior • Operaciones de calibración y parametrización del sistema. • Calibración en línea de instrumentos. • Forzar estados de los actuadores
Ingeniero	Bajo	<ul style="list-style-type: none"> • Libre acceso a todos los parámetros de configuración y mantenimiento. • Regreso a condición inicial del sistema. • Libre acceso para al modificación del registro histórico de alarma y eventos almacenados en memoria.

Fuente: Elaboración propia, julio de 2010.

Datos del sistema. En la tabla 41 se consignan los datos de las variables del sistema que deben ser captadas con sus unidades de ingeniería, rango, frecuencia de adquisición y resolución, de acuerdo a las necesidades del proceso. Los datos que se

consignan en esta tabla se tienen en cuenta para la selección de los elementos del sistema de automatización.

Tabla 18 Datos del sistema

Variable	Unidades	Frec. De adquisición	Resolución
Nivel del tanque de bocatoma	m	5 s	0,05 m
Caudal de salida de tanque de bocatoma	m ³ /s	5 s	0,01 m ³ /s
Turbidez en bocatoma	NTU	10 s	0,01NTU
Caudal de entrada a la planta	m ³ /s	5 s	0,01 m ³ /s
Caudal de entrada en tanque de dosificación	m ³ /s	5 s	0,01 m ³ /s
Turbidez en tanque de dosificación	NTU	5 s	0,01NTU
pH en tanque de dosificación	pH	10 s	0,1 Ph

Tabla 41 (Continuación)

Nivel en tanques sedimentadores	m	10 s	0,05 m
Nivel en filtros	m	5 s	0,05 m
pH en tanque de cloración	pH	10 s	0,1 Ph
Temperatura en tanque de cloración	°c	5 s	0.1 °c
Concentración de cloro en tanque de cloración	ppm	5 s	5ppm
Turbidez en tanque de cloración	NTU	5 s	0,01NTU
Presión en los almacenadores de cloro	PSI	5 s	0.1 PSI
Nivel en tanques de almacenamiento	m	10 s	0,05 m
Temperatura en tanques de almacenamiento	°c	5 s	0.1 °c
Caudal de salida	m ³ /s	5 s	0,01 m ³ /s

Fuente: Elaboración propia, julio de 2010.

Mediante los siguientes documentos se realiza una descripción de las acciones de control y de los modos de operación que tendrá el sistema de automatización sugerido para la planta El Tablazo.

Tabla 19 Descripción del sistema de control de la planta El Tablazo

Etapas del proceso	Descripción de las acciones de control
Captación:	Se medirán la turbidez, el caudal, el nivel en bocatoma, la presión en la tubería y esas variables se enviarán a la central de supervisión en la planta de tratamiento.
Aireación:	Se medirá y registrará el caudal. En este punto el agua puede pasar al proceso de potabilización o ser devuelta al río sin ningún tratamiento, dependiendo de las necesidades de la planta y del nivel presente en los diferentes puntos se controlará la posición de la válvula. Tanto la posición de la válvula como la medida del caudal se enviarán a la central de supervisión.
Dosificación De Coagulantes	<p>Se deben medir El pH del agua, la turbidez y el caudal de entrada.</p> <p>Se cambiará el sistema de adición de floculante. Por un sistema de motobombas para floculante líquido.</p> <p>En el sitio en donde se agrega el material floculante estarán instalados los respectivos sensores que miden las variables y los variadores de frecuencias de las motobombas. En este mismo sitio se dispondrá una pantalla HMI en la cual se presentarán al usuario los valores de estas variables, se presentarán también los históricos de las variables durante el turno de operación. Estos datos deben ser enviados a la sala de supervisión en donde se deben llevar registros históricos de las mismas y además se generan reportes de fin de turno de las cantidades de floculante usado, tiempo de operación de las motobombas, comportamiento de las variables, entre otros.</p> <p>Las motobombas contarán con botoneras en caso de que se requiera operarlas en modo forzado. Además se debe contar con un indicador de las cantidades de floculante adicionado por tiempo de operación de las bombas, dicho indicador debe tener su representación en la central de supervisión y en la pantalla HMI ubicada en campo.</p>

Tabla 10 (Continuación)

Etapas del proceso	Descripción de las acciones de control
Sedimenta-	Se debe mantener constante vigilancia sobre el nivel de los tanques sedimentadores pues

ción:	<p>estos están a cielo abierto y por tal razón el agua de lluvia puede rebosar su capacidad, para controlar esta variable se deben controlar las válvulas que dan paso hacia los tanques de filtrado y la válvula de entrada ubicada en la etapa de aireación. Se mantendrá el nivel de los tanques en un nivel predeterminado y el valor de la medida actual se podrá visualizar en la sala de control y supervisión.</p> <p>En el caso de que el nivel este por encima del valor requerido se abrirán las válvulas que dan paso hacia el tanque de filtrado. La posición de estas debe poderse observar en la central de supervisión y control.</p>
Filtración:	<p>Cuando el agua ingresa a los filtros desde la etapa anterior, se deben controlar las válvulas que dan paso al agua hacia los tanques de cloración. En la sala de supervisión y control, se podrá observar el comportamiento del nivel de los tanques, y el estado de las válvulas.</p>
Almacena- miento:	<p>Se deben tener en la sala de control y supervisión los valores de nivel de los tanques. Para controlar esta variable se accionaran las válvulas de distribución y las de entrada a los tanques. La temperatura se regulara mediante la entrada y salida de agua. En este punto se medirán variables mediante las cuales se controlan los parámetros de calidad del agua, como son conductividad y cantidad de cloro residual.</p>
Cloración:	<p>Actualmente existe un controlador con una HMI incorporada usado para la adición del cloro y está conectado a sensores que miden la temperatura, la concentración de cloro, el pH y la turbidez. En este equipo se pueden observar los valores de las variables anteriormente mencionadas. Los valores que actualmente se despliegan en este dispositivo se podrán observar desde la sala de supervisión y control, al igual que las cantidades de cloro almacenado en los tanques. La apertura de las válvulas de los tanques almacenadores de cloro seguirá siendo manual y el control de las cantidades de cloro se seguirá haciendo con el equipo actual, ya que este es un equipo especializado para esa tarea.</p>

Tabla 10 (Continuación)

Etapa del	Descripción de las acciones de control
------------------	---

proceso	
Distribución:	<p>Se deben controlar las válvulas que dan paso desde los tanques de almacenamiento hacia las tuberías de distribución. Se instalara un dispositivo que mida el caudal que se esta entregando a la ciudad con un totalizador en el sitio, estos datos se enviaron al centro de supervisión y control, donde se llevará un registro histórico de las cantidades consumidas por la ciudad.</p> <p>Las motobombas que envían el agua hacia el norte de la planta de tratamiento serán controladas desde el centro de supervisión y control, las bombas no pueden arrancar en vacio para lo cual se dispondrán sensores que alerten sobre esta situación. Los motores que operan las motobombas son trifásicos y por tal razón una falla en una de las fases puede averiar seriamente alguno de los motores, para evitar esa situación se instalaran sensores en las tres fases de cada motor y se enviara esta señal a la sala de control, además se contara con un panel que informe sobre el estado de las fases para la operación manual de los motores.</p> <p>Se medirá el caudal entregado hacia los tanques de almacenamiento que están ubicados en el norte de la ciudad, y se llevaran registros históricos de las cantidades entregadas. Los tanques de almacenamiento del norte serán monitoreados. Se debe obtener información acerca de la cantidad de agua almacenada y con esta información se realizara el encendido de las motobombas que surten dichos tanques, para realizar el control del nivel. El valor de esta variable será enviada a la planta para poder establecer los parámetros del lazo de control de las motobombas, además de poder hacer seguimiento a su estado en el centro de supervisión.</p>

Fuente: Elaboración propia, mayo de 2010

Tabla 20 Modos de operación del sistema de automatización para la planta El Tablazo

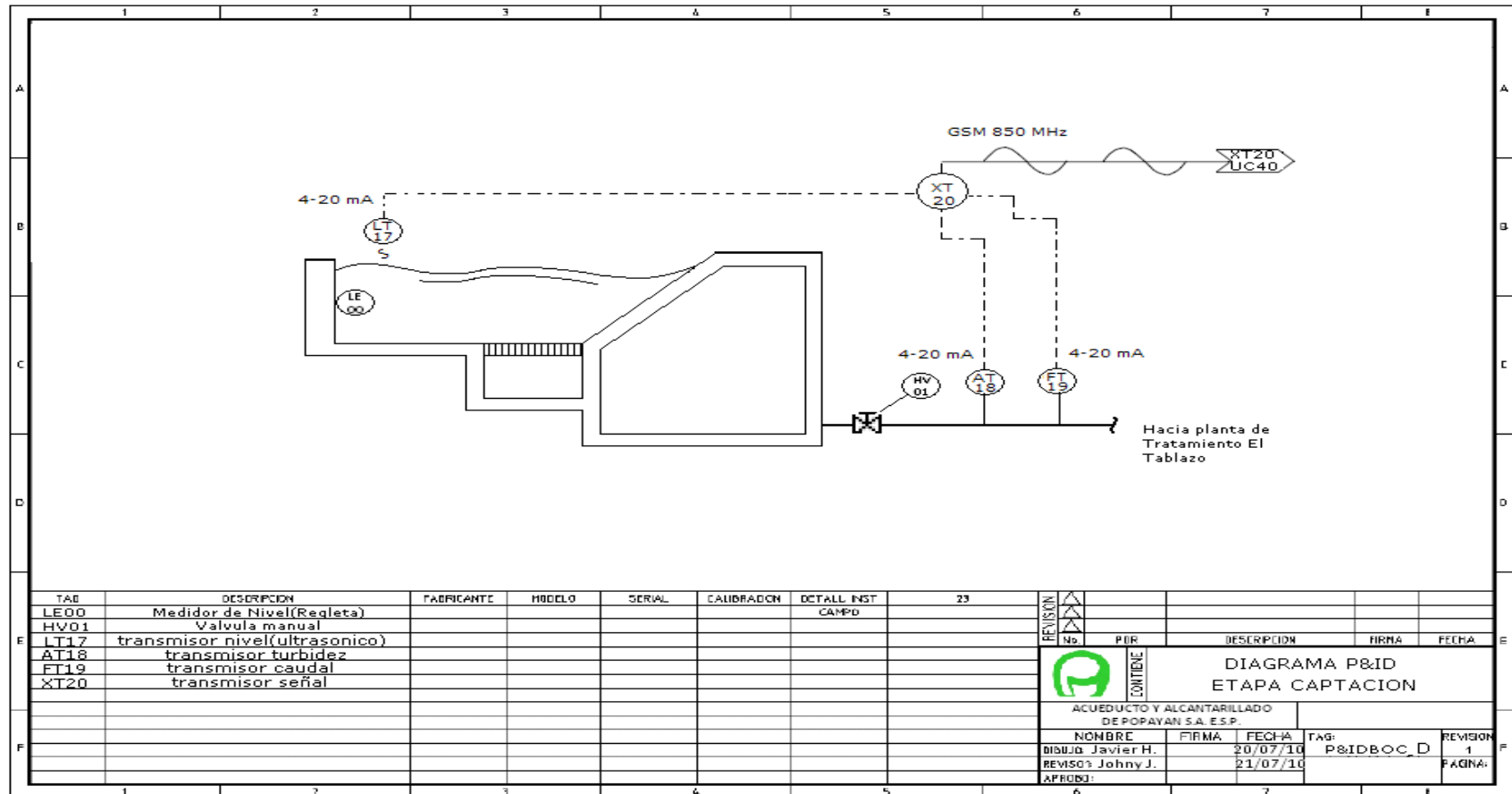
Modo de operación	Descripción

Automático	El PLC es el encargado de seguir la secuencia de acciones de control de acuerdo a lo programado, de tal manera que tomara los valores por defecto para cada Set Point proporcionando un funcionamiento básico de la planta (Modo normal) pero brindando la posibilidad de realizar cambios en las consignas dependiendo de las necesidades de producción para poder acceder a esta función se debe tener perfil de operario o de jefe de planta.
Manual forzado	En caso de presentarse situaciones especiales el sistema de la planta debe seguir operando, estos estados pueden bien lograrse por medio de ordenes directas mediante el uso de botoneras, por software desde la central de supervisión o las HMI instadas en la planta. Como se menciona al inicio de la descripción del sistema de automatización la planta debe poderse operar manualmente, bien sea montando los actuadores del sistema de automatización en paralelo con los instalados actualmente, o reemplazando los actuales por sistemas que permitan ser operados manualmente además de operar eléctricamente.
Paro de emergencia	En las botoneras de marchas forzadas se contara con unos botones mediante los cuales se puede llevar al sistema a un paro de emergencia, dichos botones tendrán capuchón e iluminación roja y serán pulsadores de enclavamiento mecánico. También debe ser posible llevar a la planta a esta condición desde el sistema de supervisión central, al momento de que la planta sea llevada a este estado todos los componentes del sistema de automatización debe ser llevado a su posición de seguridad. Es importante resaltar que el material que durante la emergencia quede en las tuberías se le buscara la ruta mas adecuada para sacar esa agua del sistema.
Rearme	En las botoneras se pondrán también botones de enclavamiento verdes que se usaran con el fin de llevar el sistema a un estado inicial de operación, y se usaran después de haber llevado la planta al paro de emergencia.
En caso de un corte de energía	El sistema activara un plan de contingencia en el cual se pedirá respaldo a un sistema alterno de energía que hace parte de la planta, en caso de ser un corte prolongado se debe operar la planta manualmente y el sistema de respaldo se reservara para operar las motobombas que llevan el agua al norte de la planta.
La operación de los elementos asociados al sistema	<p>como el caso de los actuadores de las válvulas y bombas deberán contar con los siguientes modos de operación:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Automático: controladas por la secuencia de operación del sistema en el PLC. - Manual: operación manual desde HMI o supervisorio cuando el sistema presenta algún incidente.

Fuente: elaboración propia, mayo de 2010.

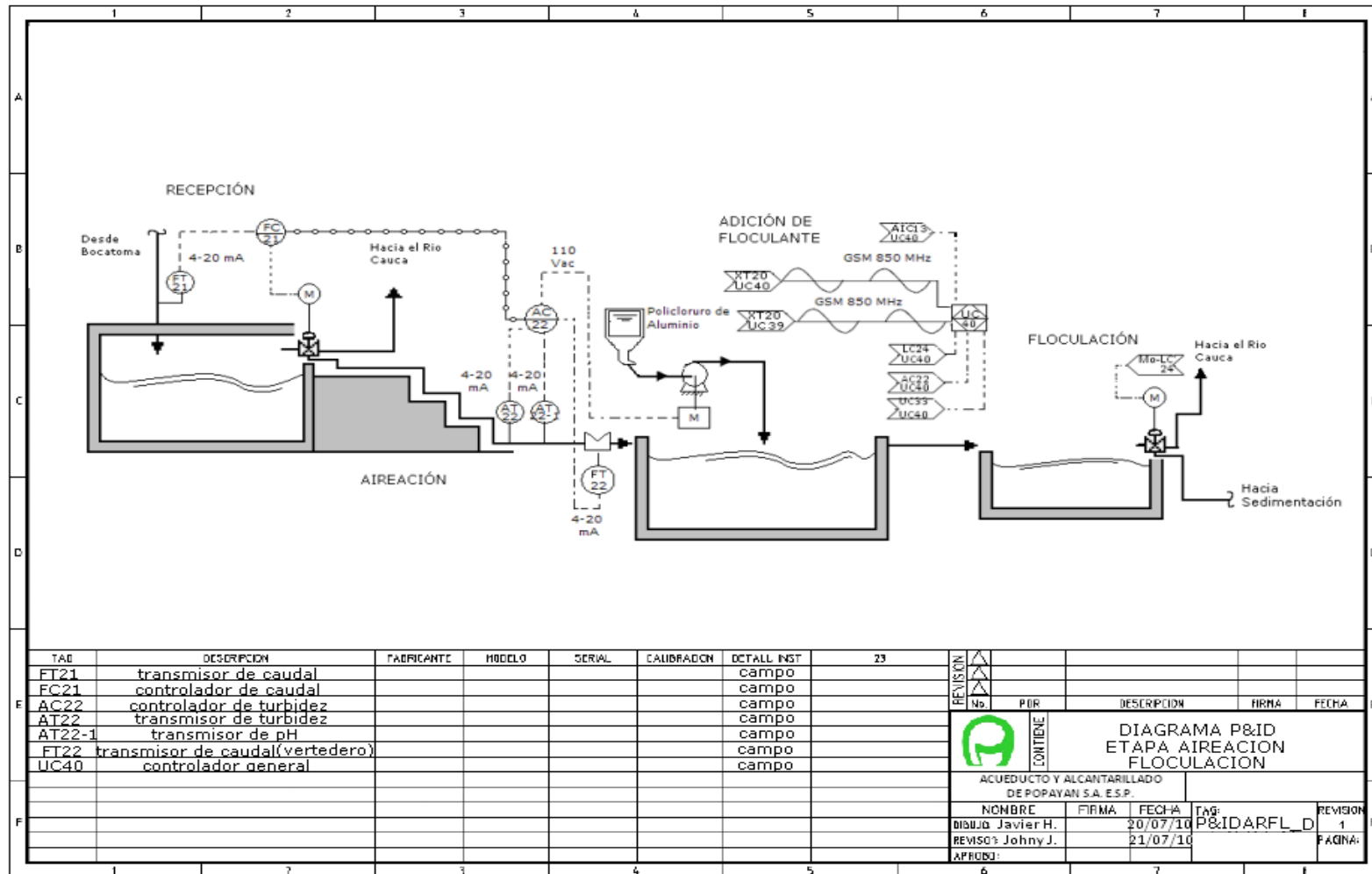
Diagramas P&ID del sistema de automatización propuesto.

Figura 8 Diagrama P&ID bocatoma propuesto



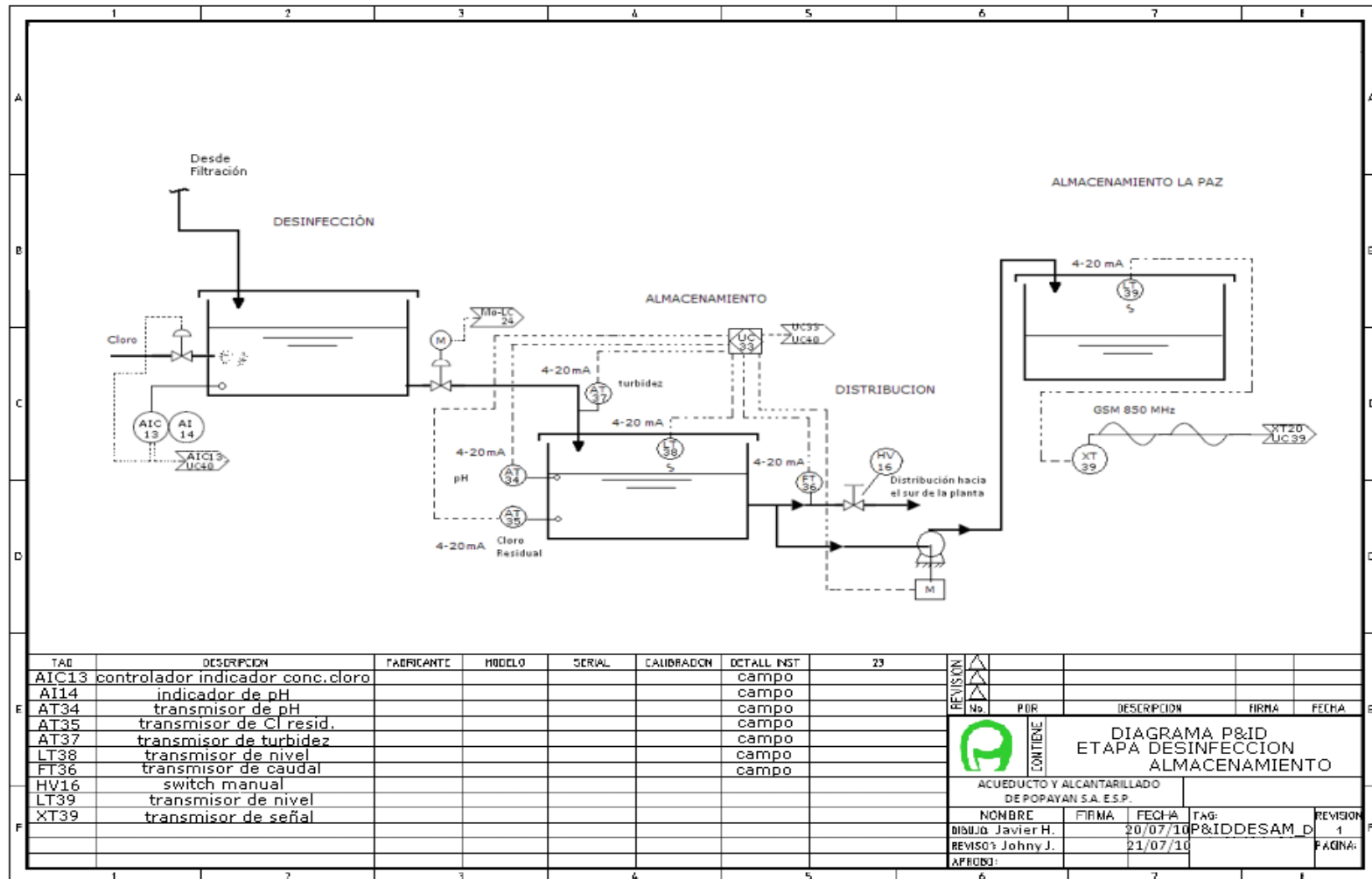
Fuente: Elaboración propia, agosto de 2010.

Figura 9 Diagrama P&ID aireación y adición de floculantes propuesto



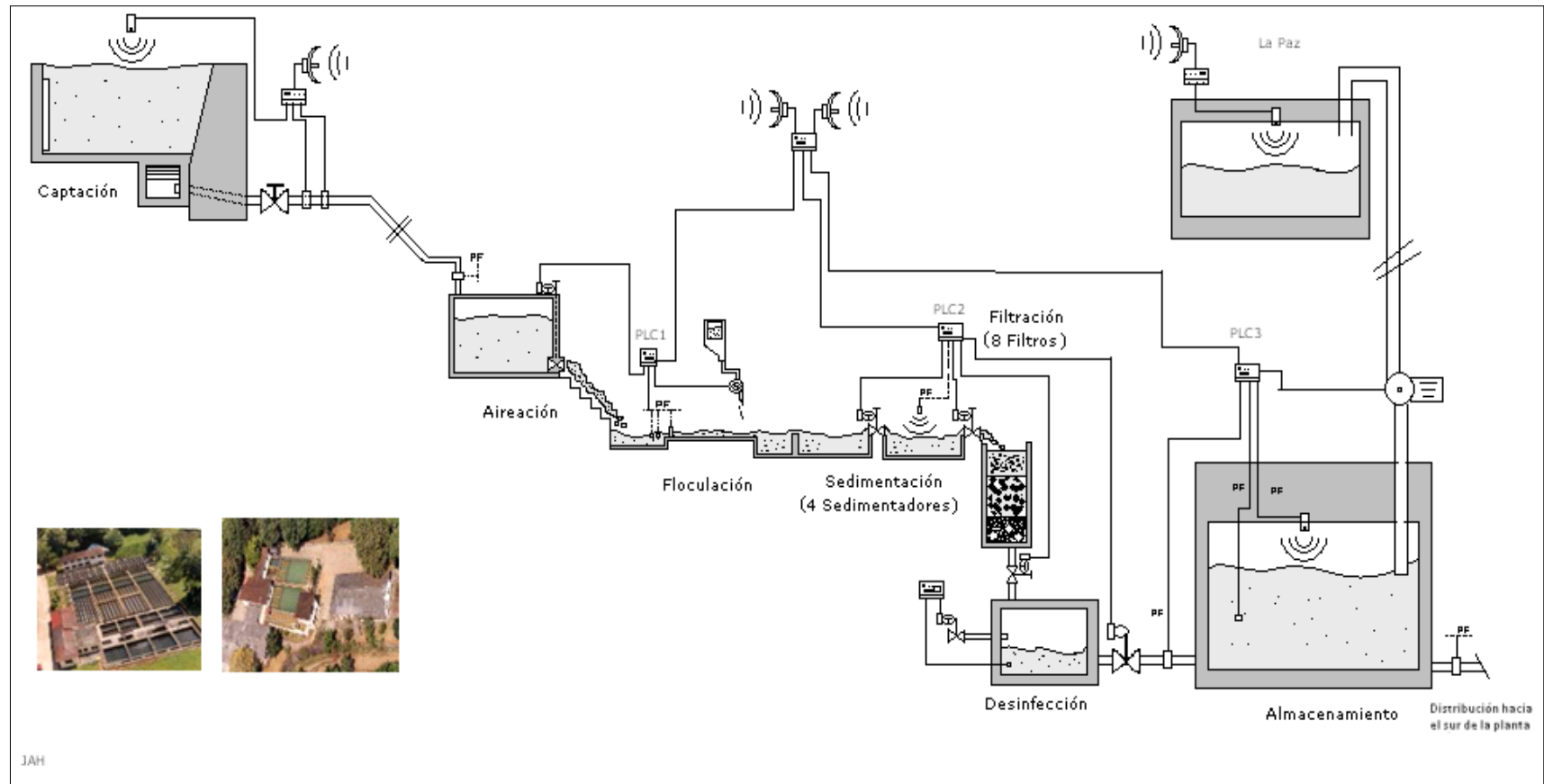
Fuente: Elaboración propia, agosto de 2010.

Figura 10 Diagrama P&ID Cloración y almacenamiento propuesto



Fuente: Elaboración propia, agosto de 2010.

Figura 11 Vista general del sistema de automatización planta El Tablazo



Fuente: elaboración propia, agosto de 2010.

ANEXO 6 ALARMAS DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN PLANTA EL TABLAZO

Un componente muy importante en el esquema de seguridad de cualquier proceso productivo es el sistema de alarma con el que se cuente. En el sistema de automatización se proponen una serie de alarmas para cada una de las etapas, con diferentes niveles de severidad según sea la importancia del evento presentado y el riesgo que puedan correr tanto las personas, los recursos y el proceso. A continuación se realiza una descripción del sistema de alarmas que se propone para la planta El Tablazo.

Tabla 21 Descripción de alarmas

Etapa de Proceso	Variable	Tipo de Alarma	Situación
Captación	Nivel de Agua en la bocatoma	Alta	Se generará para indicar al operario un posible rebosamiento de la presa.
		Baja	Se generara para indicar sobre una posible obstrucción aguas arriba o problemas de escases de agua por bajo nivel en la cuenca.
	Turbidez	Alta	Se generara para poner en sobre aviso a la planta y a la estación de la bocatoma para tomar acciones adecuadas
	Caudal	Alta	Se producirá cuando el cauce supere el máximo caudal de envío a planta permitido.
Aireación	Caudal	Baja	Se producirá para indicar problemas en la conducción de agua desde la bocatoma.
	Válvula de paso de agua al proceso	Fallo	Se genera por el mal funcionamiento de la válvula. El estado inicial de la válvula es normalmente cerrada ante el fallo debe ser accionada manualmente

Tabla 12 (Continuación)

Etapa de Proceso	Variable	Tipo de Alarma	Situación
Floculación	Válvula de paso hacia el rio	Fallo	En este caso la válvula se encontrara abierta. El operario deberá operar manualmente la válvula paralela y verificar el estado de la que se encuentra en fallo.
	pH	Alto	Si el sistema detecta un valor por encima del pH permitido este debe generar una alarma indicando la alcalinidad del agua.
		Bajo	Si el sistema detecta un valor por debajo del pH permitido este debe generar una alarma indicando la acidez del agua.
	Turbidez	Alto	Se generara esta alarma para indicar que existe una anomalía en el agua a ser tratada dando aviso al operario de turno, para la toma de decisiones respecto a este fenómeno.
	Caudal	Alto	El sistema al detectar un caudal por encima del permitido para esta etapa, generara una alarma debido a que esto infiere sobre las condiciones idóneas de aplicación de floculante al agua.
		Bajo	El sistema al detectar un caudal por debajo del permitido para esta etapa, generara una alarma debido a que esto infiere sobre las condiciones idóneas de aplicación de floculante al agua.
	Bombas dosificadoras	Fallo	El sistema notificara cuando las bombas dejen de funcionar, estando en operación.
	Cantidad de Floculante en tanques	Bajo	Se generara cuando haya baja cantidad de floculante en los tanques de almacenamiento
Cantidad de floculante Insuficiente	Bajo	Se generara en caso que la cantidad que hay en los tanques sea insuficiente para la cantidad requerida en el momento.	
Sedimentación	Nivel	Alto	Se generara por inminente desbordamiento de agua de los tanques de sedimentación.
	Compuerta Salida	Fallo	Se producirá esta alarma por mal funcionamiento de la compuerta de salida.

Tabla 12 (Continuación)

Etapa de Proceso	Variable	Tipo de Alarma	Situación
Sedimentación	Válvula Filtración-Desinfección	Fallo	Se genera por el mal funcionamiento de la válvula, en este caso la válvula se encontrara cerrada. El operario deberá operar manualmente y verificar la condición de la válvula.
Filtración	Nivel	Alto	Se generara por inminente desbordamiento de agua en los tanques de filtrado.
	pH	Alto	Si el sistema detecta un valor por encima del pH permitido este debe generar una alarma indicando la alcalinidad del agua.
Desinfección	Concentración de cloro	Bajo	Si el sistema detecta un valor por debajo del pH permitido este debe generar una alarma indicando la acidez del agua.
		Alto	Se generara una alarma cuando la concentración de cloro sobrepase los niveles adecuados, avisando el fallo del control de la dosificación.
	Funcionamiento del Dosificador	Bajo	Se generara una alarma cuando la concentración de cloro es por debajo del setpoint deseado.
		Fallo	Se generara en caso que el dosificador presente alguna anomalía en su funcionamiento.
	Presión en los cilindros de abastecimiento	Baja	Esta alarma se dará cuando la presión de los cilindros de cloro es baja indicando que es momento de reemplazarlos.
	Nivel en tanque	Alto	Se generara por inminente desbordamiento de agua en el tanque de desinfección.
	Nivel	Bajo	Se generara por no cumplir el nivel mínimo de agua en el tanque para realizar la desinfección.
Alto		Se generara por inminente desbordamiento de agua en el tanque de almacenamiento.	
Almacenamiento	Caudal de Salida	Bajo	Se activa esta alarma indicando que el tanque está en el nivel mínimo con el que puede abastecer la demanda.
		Alto	Se producirá cuando supere el máximo caudal de envío permitido al sistema de distribución.
	Temperatura	Bajo	Se dará por caudal insuficiente de salida
		Alto	Temperatura por encima de las condiciones ideales de almacenamiento.

Tabla 12 (Continuación)

Etapa de Proceso	Variable	Tipo de Alarma	Situación
	Válvula de salida	Bajo	Temperatura por debajo de las condiciones ideales de almacenamiento.
		Fallo	Se activara por fallo en la válvula de salida
	Motobombas	Fallo	Alarma por fallo en alguna de las motobombas
Distribución	Arranque en vacío	Fallo	Se activará en caso de forzar alguna motobomba con un arranque al vacío
	Alimentación de las motobombas	Fallo	Se activará por fallo por alimentación de las bombas

Arquitectura De Red. Para los elementos del nivel más bajo de la automatización, se propone una red basada en el estándar Profibus DP. Éste es un estándar de bus de campo abierto usado en una amplia gama de aplicaciones para comunicaciones industriales. Con este estándar se pueden comunicar dispositivos de diferentes fabricantes sin necesidad de hacer ajustes especiales. Esta versión en especial está enfocada en una comunicación de alta velocidad y su implementación es relativamente económica.

Se sugiere el uso de cuatro PLC para el control de la planta El Tablazo y para la recepción de las variables tanto de la bocatoma como de los tanques del SENA, estos PLC están conectados de la siguiente manera:

- Un PLC de gama media con funciones de maestro y gestión el control total de la planta
- Tres PLC de gama baja esclavos, encargados del control de partes del proceso.

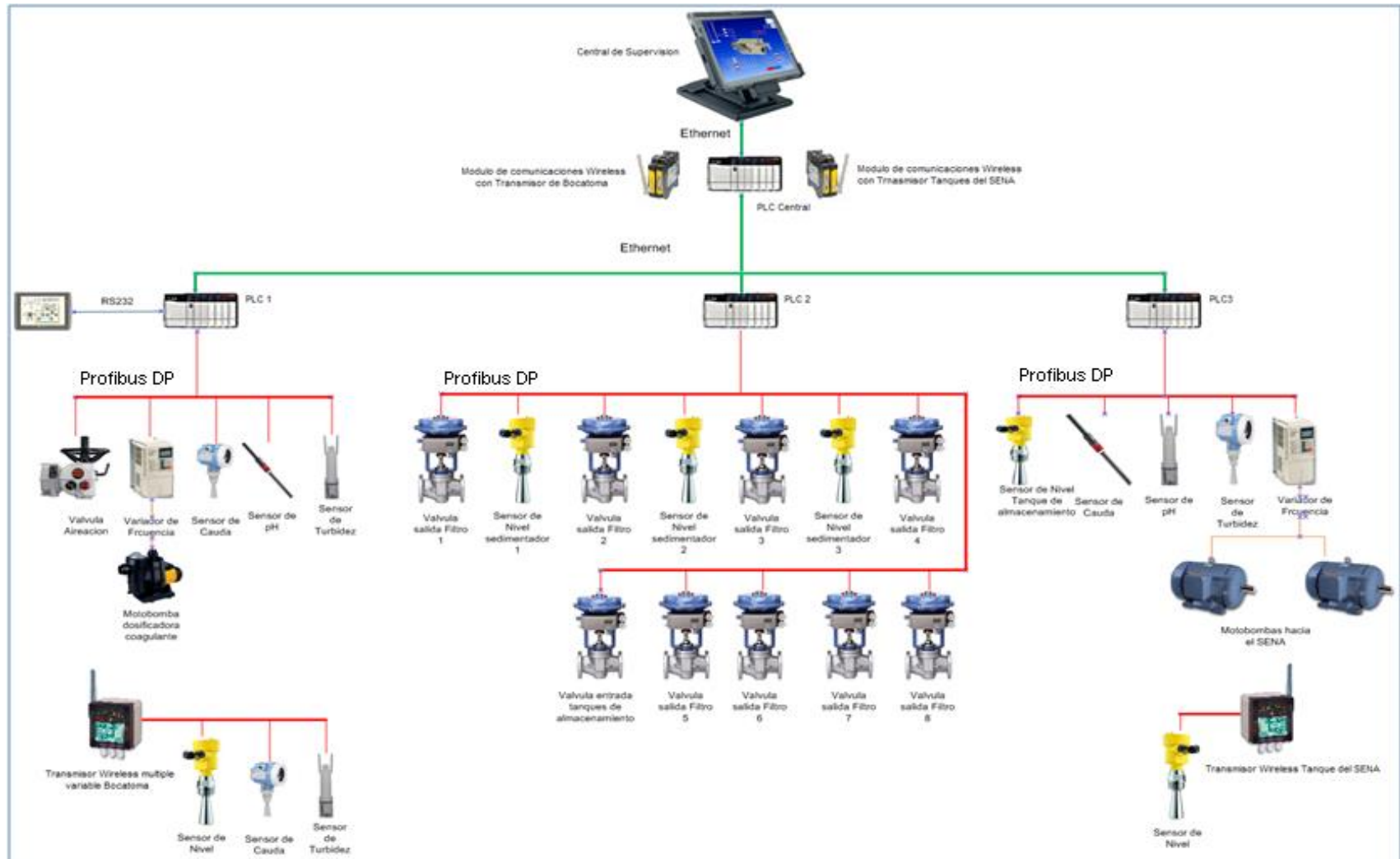
La comunicación de los PLC se propone realizarse a través de una red Ethernet industrial, por ser un protocolo abierto, además este tipo de red garantiza la

comunicación eficiente y segura. Su diseño permite ser usado en ambientes hostiles y su implementación es económica.

Para enviar los datos de las variables medidas en la bocatoma y en los tanques del SENA, se sugiere el uso de transmisores wireless de múltiple variable que envían los datos recolectados por los sensores directamente a la planta de tratamiento por medio de señales de radio. Al PLC maestro llegan directamente estos datos y se le acoplan dos módulos de recepción wireless para recoger las señales enviadas desde estos puntos remotos. El uso de esta tecnología reduce el costo del cableado desde un sector alejado de la planta y no requiere el uso de repetidores para la transmisión de los datos. Además por la distancia el cable requiere de recubrimientos especiales que impidan su deterioro en condiciones de intemperie. El esquema de la arquitectura de red se muestra en la figura 19

Fuente: Elaboración propia, mayo de 2010.

Figura 12 Arquitectura de Red propuesta para la planta de Tratamiento El Tablazo



Fuente: Elaboración propia, agosto de 2010.

ANEXO 7 PLAN DETALLADO DE TRABAJO

En este anexo se desarrollan las matrices mediante las cuales se escoge la instrumentación, dispositivos de control y supervisión, software entre otros elementos que constituyen la solución de automatización propuesta.

Tabla 22 Sensores propuestos para la automatización de la planta El Tablazo

ID	Instrumento	Dispositivos	Señal	Ubicación	Cant	Rango	Unidad	Método
MTU1	Medidor de Turbidez	Sensor-transmisor de TURBIDEZ	Analógica	Bocatoma Aireación	2	0-2000	NTU	Dispersión de Luz
MTU2				Almacenamiento	1	0-4		
MTU3								
ML1	Medidor de Nivel	Sensor-transmisor de NIVEL	Analógica	Sedimentación	4	0-2	m	Ultrasonido
ML2				Bocatoma Almacenamiento Tanque SENA	3	0-6		Ultrasonido
ML3								
ML4								
MF1	Medidor de Caudal	Sensor-transmisor de CAUDAL	Analógica	Bocatoma	1	0-6	m ³ /s	Electromag
MF2				Entrada a Planta Almacenamiento	2	0-4		Ultrasonido
MF3								
MF4				Aireación	1	0-2		Vert-Nivel
MH1	Medidor de pH	Sensor-transmisor de pH	Analógica	Aireación	1	5-10	-	Electrodo unión simple
MH2				Cloración	1			
MH3				Almacenamiento	1			
MCL1	Medidor de cloro residual	Sensor-transmisor de CLORO RESIDUAL	Analógica	Almacenamiento	1	0-1	mg/l	Membrana - Electrodo

Fuente: Elaboración propia, julio de 2010.

Tabla 23 Actuadores propuestos para la automatización de la planta El Tablazo

ID	Instrumento	Dispositivos	Señal	Ubicación	Cant	Especificación
AEM1	Actuadores eléctrico	Actuador para válvulas	Analógica	Entrada a la planta	1	110 Vac Cuarto de Vuelta
AEM2	mecánico para			Floc - Sed	1	
AEM3	válvulas			Clor - Alm	1	
AEN1	Posicionador Eléctrico Neumático	Actuador para válvulas neumáticas	Digital	Filtración	8	110 Vac
VFD1	Variador de frecuencia	Variador de frecuencia	Analógica	Dosificación de Coagulantes	1	2 HP
VFD2				Bombeo	1	14 HP
BDC1	Motobomba	Motobomba dosificación coagulante	Analógica	Dosificación de Coagulantes	1	200 l/h

Fuente: Elaboración propia, julio de 2010.

Tabla 24 Elementos de control y supervisión propuestos para la automatización de la planta El Tablazo

ID	Tipo	Ubicación	Característica	E/S Digitales	E/S Analógicas	Requerimientos Especiales
PLC 1	PLC	Floculación	Gama Baja	0/0	4/3	- Comunicación RS232 para HMI - Comunicación Profibus DP/PA - Ethernet
PLC 2	PLC	Sedimentación	Gama Baja	0/9	4/0	- Comunicación - Profibus DP/PA - Ethernet
PLC 3	PLC	Almacenamiento	Gama Baja	0/0	5/1	- Profibus DP/PA - Ethernet
PLC 4	PLC	Sala de Supervisión	Gama Media	0/0	4/0	- Transmisión Inalámbrica - Ethernet
HMI 1	HMI	Floculación	Touchscreen 640 x 480 SVGA TFT.	-	-	- Puertos USB - Puerto RS232

Tabla 15 (continuación)

ID	Tipo	Ubicación	Característica	E/S Digitales	E/S Analógicas	Requerimientos Especiales
PC1	PC	Sala de supervisión	PC de uso industrial, 2gb RAM, 320 DD, procesador de 2.5GHZ y pantalla de 32"	-	-	- Puertos USB - Puertos Ethernet

Fuente: Elaboración propia, julio de 2010.

Tabla 25 Elementos adicionales propuestos para la automatización de la planta El Tablazo

ID	Elemento	Descripción	Ubicación	Cant	Requerimientos
AdS1	Adaptador de Señal	Adaptador de 4-20mA a GSM	Bocatoma	1	Distancia min: 5 Km
AdS2			Tanque SENA	1	Distancia min: 2Km

Fuente: Elaboración propia, julio de 2010.

Tabla 26 Software propuesto para la automatización de la planta El Tablazo

Software	Descripción
Programación de PLC	Es la plataforma software mediante la cual se programan los diferentes elementos de control escogidos para realizar la automatización propuesta
Sistema de Supervisión, Adquisición y Control	Se refiere a los programas necesarios para el desarrollo y posterior uso de los sistemas de supervisión propuestos para el sistema de automatización.
Programa para el diseño de la interfaz del HMI.	Son los programas mediante los cuales se diseña y programa los dispositivos de interacción con los operarios.
Programa para la configuración de Redes y la comunicación	Hace referencia a la plataforma mediante la cual se programan los parámetros de las distintas redes instalados en el sistema propuesto.

Fuente: Elaboración propia, julio de 2010.

Criterios de selección. Esta actividad se sugiere realizar como parte del programa detallado de trabajo. Mediante esta actividad se escogerá los dispositivos sugeridos para hacer parte de la implementación de la solución de automatización propuesta para la planta El Tablazo. A continuación se realiza una descripción de dichos criterios.

Tabla 27 Criterios para la selección de dispositivos

Criterio	Descripción
Costo	Hace referencia a la apreciación del precio del producto.
Seguridad	De acuerdo a la defensa o protección que posee un sistema frente al acceso no autorizado a información confidencial ó alteración de procedimientos o consignas.
Robustez	Para el SCADA se refiere a la capacidad que tiene el sistema para que su funcionamiento sea inmune ante fallos externos. Para la instrumentación y los dispositivos de control, se refiere a la insensibilidad ante los cambios o perturbaciones que puedan presentarse en campo.
Escalabilidad	Este criterio hace referencia a la posibilidad de ampliar el sistema con nuevas herramientas o prestaciones y la facilidad para implementarlas.
Compatibilidad	Capacidad del elemento para comunicarse con otros dispositivos o sistemas.
Tiempo de Respuesta	Es el tiempo que tarda el instrumento en dar una medida de la variable o cuan rápido responde ante un cambio. A menor tiempo de respuesta mayor será el puntaje.
Precisión	Es la tolerancia mínima de medida que permitirá indicar un instrumento. A mayor precisión mayor puntaje obtenido por el instrumento
Mantenimiento	Es el tiempo mínimo de mantenimiento que se le debe realizar al instrumento. A un tiempo mayor el puntaje por este criterio será mayor
Condiciones del Proceso	Hace referencia a la adaptación del equipo a las condiciones y al proceso en general
Soporte	Son los servicios que presta el fabricante o distribuidor en caso de que el equipo falle o cuando se requiera ayuda, aquí también se tiene en cuenta la garantía del equipo y las condiciones que cubre.
Operatividad	Facilidad para su instalación, uso y/o manipulación
Fiabilidad	Es la confianza o seguridad que da la marca y/o fabricante del producto que refleja un mayor respaldo.
Velocidad de Procesamiento	Hace referencia a las instrucciones por segundo que realiza en este caso el procesador de un PLC. A mayor velocidad de procesamiento mayor puntaje.

Fuente: Elaboración propia, julio de 2010.

A continuación se presentan las tablas mediante las cuales se escogieron los diferentes dispositivos sugeridos para implementar el proyecto de automatización propuesto para la planta El Tablazo.

Tabla 28 Sensor – Transmisor de Turbidez (MTU1 Y MTU2)

Criterio	Costo (10%)	Compatibilidad (20%)	Tiempo de Respuesta (20%)	Precisión (30%)	Mantenimiento (20%)	Total
ATI A15/76	6	3	6	5	4	470
Yokogawa TB4506	3	5	3	6	6	490
Royce TU 7685	5	4	7	5	5	520
Sigrist DualScat	4	9	5	6	3	560

Fuente: Elaboración propia, julio de 2010.

Tabla 29 Sensor – Transmisor de Turbidez (MTU3)

Criterio	Costo (10%)	Compatibilidad (15%)	Tiempo de Respuesta (20%)	Precisión (40%)	Mantenimiento (15%)	Total
ATI A15/76	5	3	6	5	4	475
SWAN AMI Turbiwell	5	8	6	6	5	605
Emerson Clarity II	3	4	7	5	5	505
Yokogawa YB750G	3	3	5	5	4	435

Fuente: Elaboración propia, julio de 2010.

Tabla 30 Sensor – Transmisor Nivel (ML1)

Criterio	Robustez (20%)	Precisión (15%)	Compatibilidad (15%)	Condiciones del Proceso (30%)	Costo (20%)	Total
SITRANS Probe LU	6	5	6	6	4	545
Emerson MSP422	6	4	4	5	4	470
Burket Type 8176	3	6	4	5	6	480
E+H Prosonic FMU40	6	7	6	7	4	605

Fuente: Elaboración propia, julio de 2010

Tabla 31 Sensor – Transmisor Nivel (ML2, ML3, ML4)

Alternativa \ Criterio	Robustez (25%)	Precisión (10%)	Compatibilidad (15%)	Condiciones del Proceso (30%)	Costo (20%)	Total
SITRANS Probe LU	6	5	6	6	4	550
Emerson MSP422	6	4	4	5	4	480
Burket Type 8176	3	6	4	5	6	465
E+H Prosonic FMU41	6	7	6	7	4	600

Fuente: Elaboración propia, julio de 2010

Tabla 32 Sensor – Transmisor de Caudal (MF1)

Alternativa \ Criterio	Robustez (30%)	Precisión (10%)	Compatibilidad (10%)	Condiciones del Proceso (30%)	Costo (20%)	Total
E+H Promag 10W	4	7	7	5	5	510
ABB FXP4000	5	8	6	5	3	500
Yokogawa SE300	6	6	5	5	4	520
Rosemount 8705	7	6	7	6	4	600

Fuente: Elaboración propia, julio de 2010

Tabla 33 Sensor – Transmisor de Caudal (MF2,MF3)

Alternativa \ Criterio	Robustez (20%)	Soporte (20%)	Mantenimiento (15%)	Condiciones del Proceso (25%)	Costo (20%)	Total
Omega FD400	7	6	7	6	5	615
Dynasonics DFX	6	6	6	6	5	580
Hach 950	6	5	6	5	4	515
Cont. Elect. PDS-360	3	3	5	7	6	490

Fuente: Elaboración propia, julio de 2010

Tabla 34 Sensor – Transmisor de Caudal (MF4)

Alternativa \ Criterio	Robustez (20%)	Precisión (15%)	Compatibilidad (15%)	Condiciones del Proceso (30%)	Costo (20%)	Total
SITRANS Probe LU	6	5	6	6	4	545
Emerson MSP422	6	4	4	5	4	470
Burket Type 8176	3	6	4	5	6	480
E+H Prosonic FMU40	6	7	6	7	4	605

Fuente: Elaboración propia, julio de 2010

Tabla 35 Sensor – Transmisor de pH (MH1,MH2,MH3)

Alternativa \ Criterio	Robustez (20%)	Tiempo de Respuesta (30%)	Mantenimiento (15%)	Precisión (30%)	Costo (5%)	Total
Burkert 8285	4	5	6	6	8	540
Sensorex PHMA	5	4	5	4	9	460
Honeywell DL421	6	7	6	6	4	620
Siemens Strantrol880	7	6	7	7	3	650

Fuente: Elaboración propia, julio de 2010

Tabla 36 Sensor – Transmisor de Cloro Residual

Alternativa \ Criterio	Precisión (30%)	Robustez (15%)	Mantenimiento (20%)	Tiempo de Respuesta (30%)	Costo (5%)	Total
Yokogawa FC400G	8	7	6	8	4	725
Siemens VariaSens	7	7	6	7	3	660
Hach CL17	6	5	4	5	6	515
AIC MWA4-70	5	4	7	4	7	505

Fuente: Elaboración propia, julio de 2010

Tabla 37 Actuador Electro-Mecánico para válvulas (AEM1,AEM2,AEM3)

Criterio Alternativa	Precisión (5%)	Robustez (35%)	Mantenimiento (25%)	Tiempo de Respuesta (20%)	Costo (15%)	Total
Rotork E1120	7	6	6	8	7	660
Honeywell M6061	8	6	7	7	6	655
Spirax Sarco EL5650	4	5	5	6	4	500
Flowserve QX-5	6	6	5	6	5	560

Fuente: Elaboración propia, julio de 2010

Tabla 38 Posicionador Eléctrico Neumático (AEN1)

Criterio Alternativa	Robustez (25%)	Mantenimiento (25%)	Tiempo de Respuesta (15%)	Costo (15%)	Precisión (5%)	Compatibilidad (15%)	Total
Siemens SIPART PS2	7	8	7	3	7	6	650
Burkert 8630	7	7	7	8	6	8	725
Spirax Sarco SP200	6	6	7	8	6	2	585
ABB TZIDC-110	7	7	8	2	9	6	635

Fuente: Elaboración propia, julio de 2010

Tabla 39 Variador de Frecuencia (VFD1)

Criterio Alternativa	Operabilidad (20%)	Compatibilidad (20%)	Costo (30%)	Soporte (30%)	Total
Mitsubishi D700	7	6	8	7	710
AB PowerFlex 4	6	3	6	6	540
Siemens Microm. 420	5	8	5	5	560
Emerson Commander	6	7	6	6	620

Fuente: Elaboración propia, julio de 2010

Tabla 40 Variador de Frecuencia (VFD2)

Alternativa \ Criterio	Compatibilidad (35%)	Costo (20%)	Operabilidad (10%)	Soporte (35%)	Total
Emerson Commander	7	4	5	6	585
Mitsubishi E700	7	6	8	7	690
AB PowerFlex 40	3	6	7	5	470
Siemens MicroM. 430	8	3	5	5	565

Fuente: Elaboración propia, julio de 2010

Tabla 41 Motobomba (BDC1)

Alternativa \ Criterio	Robustez (30%)	Mantenimiento (35%)	Costo (25%)	Soporte (10%)	Total
Milton Roy serie G	6	7	6	7	645
SIMETCH DD150	7	6	5	6	605
USFilter CHEMTUBE 200	7	6	5	7	615
Pascual DM	6	6	7	6	625

Fuente: Elaboración propia, julio de 2010

Controladores y HMI

Tabla 42 PLC gama baja (PLC1)

Alternativa \ Criterio	Fiabilidad (25%)	Soporte (25%)	Compatibilidad (15%)	Costo (15%)	Velocidad de Procesamiento (5%)	Total
Mitsubishi FX1N	7	7	7	6	8	585
SIEMENS S7 200	7	7	8	7	7	610
Panasonic FP0	6	5	7	8	6	530
GE Durus	7	6	7	5	8	545

Fuente: Elaboración propia, julio de 2010

El PLC SIEMENS S7 200, el cual fue seleccionado en la matriz de criterios, cumple también con los requerimientos de los PLC2 y PLC3, por tanto se obvia la realización de las tablas para la selección de los mismos.

Tabla 43 PLC gama media (PLC4)

Criterio Alternativa	Robustez (30%)	Soporte (20%)	Compatibilidad (20%)	Costo (20%)	Velocidad de procesamiento (10%)	Total
SIEMENS S7 300	7	6	8	5	8	670
GE Series 90-30	7	5	7	6	7	640
Modicon TSX Micro	6	5	7	7	8	640
Omron Sysmac CJ1	6	5	5	6	7	570

Fuente: Elaboración propia, julio de 2010

Tabla 44 HMI (HMI1)

Criterio Alternativa	Fiabilidad (20%)	Compatibilidad (25%)	Costo (25%)	Robustez (30%)	Total
SIMATIC HMI KTP1000	7	5	4	7	575
EXOR eTOP 31	5	6	7	5	575
DELTA AE80	6	6	6	5	570
Pro-Face AGP3500	6	8	7	6	675

Fuente: Elaboración propia, julio de 2010

Tabla 45 Adaptadores de Señal (AdS1 y AdS2)

Criterio Alternativa	Escalabilidad (30%)	Fiabilidad (20%)	Costo (25%)	Robustez (25%)	Total
DataLinc Planlinc 580	6	5	8	4	580
Desin RAL-3500	7	6	7	3	580
Phoenix Cont. MCR-RAD	4	8	5	7	580
WeirdMuller WI-I/O 9-2	8	6	6	6	660

Fuente: Elaboración propia, julio de 2010

Tabla 46 Selección del software para el sistema de supervisión, adquisición y control

Alternativa \ Criterio	Costo (10%)	Seguridad (20%)	Robustez (20%)	Escalabilidad (25%)	Compatibilidad (25%)	Total
FactoryTalk View	6	8	8	7	6	705
Wonderware Intouch	7	8	8	8	8	790
SIEMENS Wincc	6	7	8	6	6	660
Intellution iFix	7	7	7	6	7	675

Fuente: Elaboración propia, julio de 2010

Herramienta para el diseño de la interfaz del HMI. Para el diseño de la interfaz de la HMI Pro-Face AGP3500 es necesario adquirir el software de programación propietario de la HMI, denominado **GP-PRO EX**. Por este motivo no se hará una matriz de criterios para su selección.

Herramienta para la configuración de Redes y la comunicación.

Tabla 47 Selección herramienta de configuración Profibus

Alternativa \ Criterio	Costo (20%)	Compatibilidad (30%)	Escalabilidad (20%)	Operabilidad (30%)	Total
Softing Profibus CT	4	8	7	7	670
Embedded CD PCT	5	6	5	6	555
Anybus NetTool-PB	6	5	5	6	545
Comsoft PCT	5	6	5	6	555

Fuente: Elaboración propia, julio de 2010

Ethernet. Para la configuración de esta red es necesaria la herramienta **STEP 7-MicroWIN** con la que se programan los módulos Ethernet dispuestos en los PLC.

Tabla 48 Actividades para la implementación de la solución de automatización propuestas

ID	Actividad	Personal	Materiales	Herramientas	Tipo de Actividad	Ubicación	Duración
1	Instalación de sensores	Ingeniero de hardware Instrumentista Técnico electricista	<ul style="list-style-type: none"> • Sensores • Cable de sensores • Marquillas para los cables • Accesorios para empotrar 	Atornilladores Taladro Alicates Pinzas Llaves de tuercas	Hardware	Unidad de captación, aireación, floculación, sedimentación, almacenamiento	30
2	Instalación de transmisores inalámbricos	Ingeniero de hardware Instrumentista Técnico electricista	<ul style="list-style-type: none"> • Sensores • Marquillas para los cables • Cable de sensores • Accesorios para empotrar 	Atornilladores Taladro Alicates Pinzas Llaves de tuercas	Hardware	Unidad de captación	10
3	Instalación de actuadores	Ingeniero de hardware Instrumentista Técnico electricista Técnico soldadura	<ul style="list-style-type: none"> • cables de los actuadores • Marquillas para los cables • accesorios para empotrar • Soldadura 	Atornilladores Taladro Alicates Pinzas Llaves de tuercas Soldador	Hardware	Unidad de, aireación, floculación, almacenamiento	30
4	Instalación de PLCs	Ingeniero de hardware	<ul style="list-style-type: none"> • PLC • Cables de alimentación • Accesorios para empotrar 	Atornilladores Taladro Alicates Pinzas Llaves de tuercas	Hardware	Unidad de Floculación, cloración, almacenamiento. Sala de Supervisión.	4

Tabla 39 (Continuación)

ID	Actividad	Personal	Materiales	Herramientas	Tipo de Actividad	Ubicación	Duración
5	Cableado de redes	Ingeniero de hardware Instrumentista Técnico electricista	<ul style="list-style-type: none"> • Cables de red profibus • Marquillas para los cables • Terminales para los cables de red • Conectores profibus • Interface profibus • Fuente de 24 VDC • Cable Ethernet • Conectores rj45 	Desatornilladores Taladro Alicates Pinzas Llaves de tuercas Ponchadora	Hardware	Unidad de captación, aireación, floculación, desinfección sedimentación, almacenamiento. Sala de supervisión.	45
6	Calibración de sensores	Ingeniero de hardware Instrumentista		Atornilladores Tester con Voltímetro y amperímetro	Mixta	laboratorio	15
7	Diseño y elaboración de programa de control	Ingeniero de software		Computador con software de programación preinstalado	Software	Laboratorio	30
8	Diseño de sistema de supervisión	Ingeniero de hardware Ingeniero de software Ingeniero encargado		Computador con software de programación preinstalado	Software	Laboratorio	15

Tabla 39 (Continuación)

ID	Actividad	Personal	Materiales	Herramientas	Tipo de Actividad	Ubicación	Duración
9	Diseño y programación de la HMI	Ingeniero de software		Computador con software de diseño preinstalado	Software	Laboratorio	4
10	Instalación de la HMI	Ingeniero de hardware Instrumentista	<ul style="list-style-type: none"> • HMI • Accesorios para empotrar 	Atornilladores Taladro Alicates Pinzas	Hardware	Unidad de Floculación	1
11	Integración del sistema de cloración con el sistema de supervisión	Ingeniero de hardware Instrumentista		Alicates Pinzas Atornilladores Tester con Voltímetro y amperímetro	Mixta	Unidad de Desinfección	8
12	Descarga del programa de control al PLC		Cable de conexión RS485			Laboratorio	1
13	Chequeo de lazos de control	Ingeniero de hardware Instrumentista		Tester con Voltímetro y amperímetro	Mixta	Unidad de aireación, floculación, desinfección, sedimentación, almacenamiento. Sala de supervisión.	15

Tabla 39 (Continuación)

ID	Actividad	Personal	Materiales	Herramientas	Tipo de Actividad	Ubicación	Duración
14	Simulación del sistema	Ingeniero de hardware Ingeniero de software Ingeniero encargado			Mixta	Unidad de aireación, floculación, desinfección, sedimentación, almacenamiento. Sala de supervisión.	15
15	Pruebas	Ingeniero de hardware Ingeniero de software Ingeniero encargado		Tester con Voltímetro y amperímetro, PC de supervisión	Mixta	Unidad de aireación, floculación, desinfección, sedimentación, almacenamiento. Sala de supervisión.	15

Fuente: Elaboración propia, mayo de 2010.

ANEXO 8 EJEMPLO DE PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN

I Descripción de la Situación Actual

Durante las visitas realizadas a la planta y mediante la información suministrada por parte de la empresa se encontró el siguiente panorama:

- El nivel del agua en sedimentadores, tanques de filtración, desinfección y almacenamiento es controlada por el operario ocurriendo en algunos casos rebose de los mismos.
- La dosificación de coagulante no es precisa, la cantidad a suministrar es de acuerdo a la turbidez del agua, medida que es calculada por el operario por lapsos de tiempo por tanto susceptible a desviaciones.
- La bocatoma no tiene en todo momento la supervisión del operario y el cambio drástico de las variables medidas podría alterar las condiciones de operación en la planta de tratamiento.
- Se maneja de forma aislada la dosificación de cloro respecto a los demás proceso de la planta y cualquier modificación a los parámetros de control o supervisión de variables tiene que hacerse en sitio.
- Los reportes diarios sobre producción, comportamiento de variables y calidad se realiza manualmente ocurriendo pérdidas de información.
- No existe un sistema que evite los arranques en vacío de las bombas que llevan el agua hacia los tanques de almacenamiento del barrio "La Paz".
- Necesidades del cliente

II Necesidades del cliente

- **Controlar el nivel del agua en toda la planta:** actualmente el control de esta variable depende de la habilidad del operario de la planta, y se pueden presentar situaciones indeseadas.
- **Controlar la adición de floculante:** La adición de este insumo es clave para la disminución de costos de operación en la planta. El proceso se realiza mediante una prueba manual llamada prueba de jarras mediante la cual se determinan las cantidades de floculante que se debe agregar, los patrones se calculan y se pasan a una maquina dosificadora, que de calibrarse inadecuadamente conlleva al desperdicio de material floculante y el agua debe ser devuelta al rio. El material agregado actualmente es sulfato de aluminio en presentación sólida granular.
- **Supervisión inasistida y remota de las variables que se necesitan conocer de las bocatomas de la planta:** la bocatoma no tiene en todo momento la supervisión del operario y el cambio drástico de las variables medidas podría alterar las condiciones de operación en la planta de tratamiento.
- **Tener un sistema para supervisar el actual control de la adición de cloro:** las variables de esta parte del proceso y su control se realizan por medio de equipos especializados con los que actualmente cuenta la planta, lo que se busca es poder observar el comportamiento de estas variables en un sitio más accesible para los operarios.
- **Supervisar el estado de los elementos de control:** una vez se ha realizado la automatización de la planta es necesario poder conocer el estado de todos los elementos de control

- **Poder tener reportes diarios del comportamiento de las variables de control y calidad en tiempo real:** esta información es clave para poder determinar las características de operación de la planta, cantidades producidas, cantidades consumidas, comportamiento de las variables entre otras características que se desean conocer del comportamiento de la planta.

III Descripción del sistema de control

La descripción como debe ser presentada en este aparte de la propuesta se encuentra en el anexo 5, tabla 12.

IV Alarmas del sistema

Tabla 49 Seguridad del sistema

Etapa de Proceso	Variable	Tipo de Alarma
Captación	Nivel de Agua en la bocatoma	Alta
		Baja
	Turbidez	Alta
	Caudal	Alta
Aireación	Caudal	Baja
	Válvula de paso de agua al proceso	Fallo
Floculación	Válvula de paso hacia el rio	Fallo
	pH	Alto
		Bajo

Tabla 42 (continuación)

Etapa de Proceso	Variable	Tipo de Alarma
Floculación	Turbidez	Alto
	Caudal	Alto
		Bajo
	Bombas dosificadoras	Fallo
	Cantidad de Floculante en tanques	Bajo
Cantidad de floculante Insuficiente	Bajo	
Sedimentación	Nivel	Alto
	Compuerta Salida	Fallo
	Válvula Filtración-Desinfección	Fallo
Filtración	Nivel	Alto
	pH	Alto
Desinfección	Concentración de cloro	Bajo
		Alto
	Funcionamiento del Dosificador	Bajo
		Fallo
	Presión en los cilindros de abastecimiento	Baja
	Nivel en tanque	Alto
Nivel	Bajo	
	Alto	
Almacenamiento	Caudal de Salida	Bajo
		Alto
	Temperatura	Bajo
		Alto
	Válvula de salida	Bajo
Fallo		
Motobombas	Fallo	
Distribución	Arranque en vacío	Fallo
	Alimentación de las motobombas	Fallo

V Objetivo General del proyecto de automatización de la Planta El Tablazo

Disminuir los costos de operación, mediante un proyecto de automatización industrial, en la producción de agua potable de la planta de tratamiento El Tablazo del Acueducto de Popayán en un plazo de un (6) meses contados a partir de la aprobación del proyecto.

Objetivos Específicos:

- Disminuir desperdicio de floculante en la etapa de floculación del proceso de tratamiento de agua potable de la planta El Tablazo.
- Mejorar las condiciones laborales de los operarios de la planta de producción de agua potable El Tablazo.
- Incrementar los niveles de seguridad en el tratamiento de agua potable en la planta El Tablazo.
- Disminuir los tiempos de mantenimiento correctivo en los equipos de tratamiento de agua potable en la planta El Tablazo.
- Disminuir los tiempos de respuesta ante situaciones indeseadas en la potabilización de agua, en la planta El Tablazo.

VI Alcance del proyecto

El alcance del presente proyecto de automatización en la planta de tratamiento de agua potable El Tablazo son los niveles 1 y 2 definidos bajo el estándar jerárquico establecido en la norma ISA95 parte I. las tareas de estos dos niveles se presentan a continuación.

Tabla 50 Funciones nivel I

Tarea	Descripción
Recolectar datos	Medir y recoger los datos arrojados por las distintas variables de la planta
Determinar Estado Actual	Mediante los datos recolectados se establece el estado del proceso en cada momento.
Acondicionar señales	Las señales obtenidas y transmitidas reciben un tratamiento que se realiza en este nivel.
Coordinar de instrumentos	Los dispositivos requieren de programación e instrucciones que coordine su funcionamiento.
Modificar proceso	A través de los dispositivos denominados actuadores se modifican las condiciones del proceso y a su vez la materia prima.

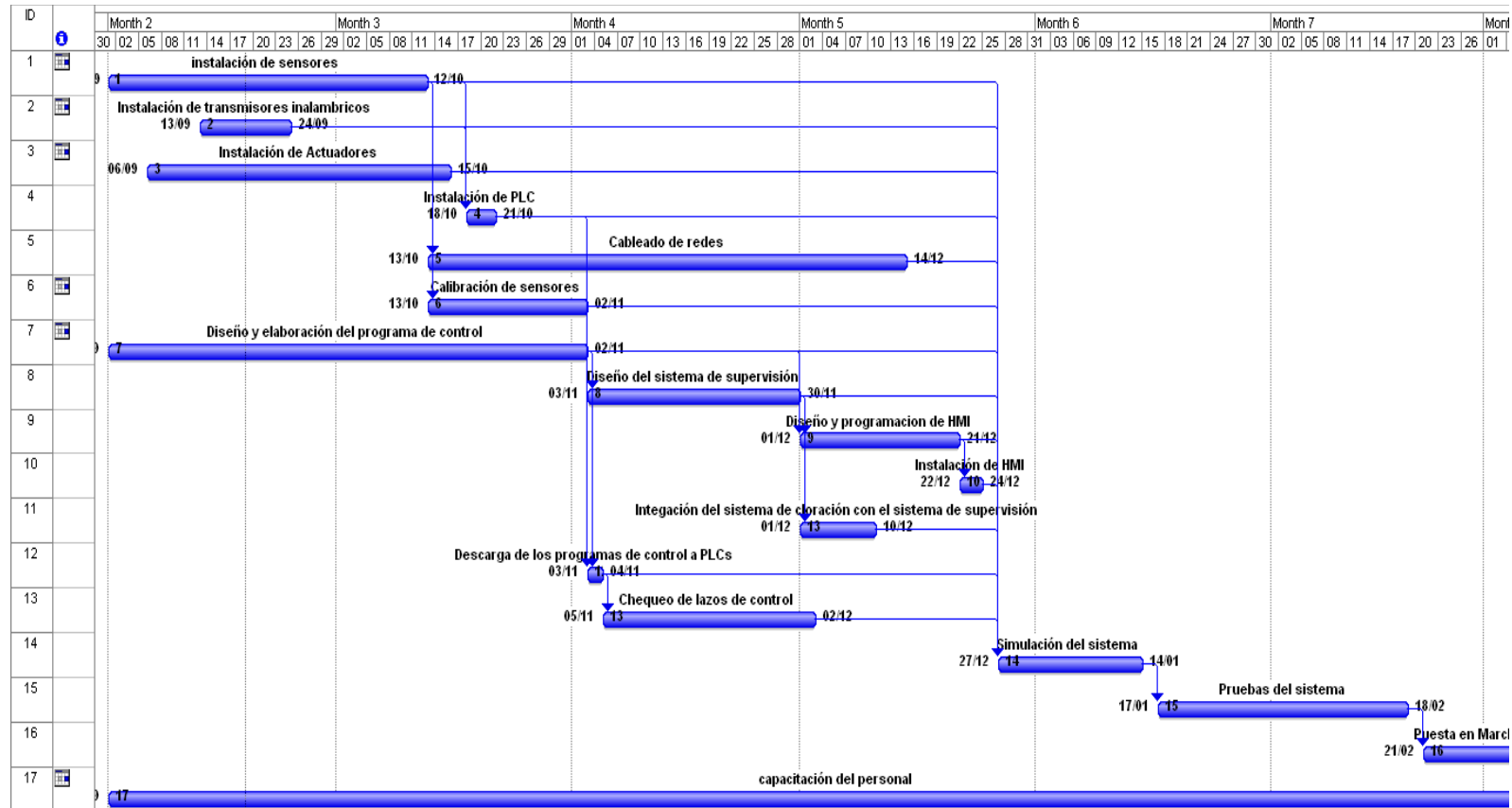
Fuente: Elaboración propia, junio de 2010

Tabla 51 Tareas nivel II

Tarea	Descripción
Controlar proceso	Mantener mediante algoritmos de control, las condiciones de operación esperadas en el proceso de potabilización de agua en la planta de tratamiento El Tablazo.
Detectar anomalías	Detectar condiciones anormales del proceso y ejecutar los correctivos necesarios.
Transmitir información	Se espera en un futuro poder implementar proyectos de automatización que permitan además llevar la información a niveles superiores de la empresa, con el fin de facilitar la labor administrativa de la empresa.
Operar sistema	En este nivel están los dispositivos que permiten al operador del sistema interactuar con él. Ofreciendo además una interfaz grafica agradable para operar el sistema..
Monitoreo del proceso	A través de los algoritmos de control y las señales enviadas desde el nivel inferior se podrá establecer las condiciones del proceso con el fin de tomar los correctivos necesarios.
Algoritmos de control	Tanto las secuencias de los actuadores, los algoritmos a ejecutar serán establecidos desde los dispositivos que se encuentran en este nivel.

Fuente: Elaboración propia, junio de 2010.

Figura 13 Programación de actividades



Fuente: Elaboración propia, agosto de 2010.

VII Costos

A continuación se presenta la relación de los costos del proyecto que incluye el hardware y el software seleccionado, así como la mano de obra del personal necesario para su implementación además se presentan algunos de los beneficios directos e indirectos de realizar un proyecto de automatización industrial en el proceso de potabilización de la planta El Tablazo.

Tabla 52 Componente de costos

Tabla 53 Costos de la implementación de un proyecto de automatización industrial en la planta El Tablazo

Mano de Obra	Costo x día	Días trabajados	Costo días trabajados
Ingeniero Encargado	\$ 300.000,00	45	\$ 13.500.000,00
Ingeniero de Hardware	\$ 200.000,00	68	\$ 13.600.000,00
Ingeniero de Software	\$ 180.000,00	95	\$ 17.100.000,00
Instrumentista	\$ 110.000,00	98	\$ 10.780.000,00
Técnico Electricista	\$ 80.000,00	120	\$ 9.600.000,00
Subtotal			\$ 64.580.000,00
Hardware y Software			
Hardware			\$ 38.650.000,00
Software			\$ 24.750.000,00
Subtotal			\$ 127.980.000,00
Reserva Administrativa			\$ 19.197.000,00
Total			\$ 147.177.000,00

Fuente: Elaboración propia, agosto de 2010.

Tabla 54 Beneficios de la implementación de un proyecto de automatización industrial en la planta el Tablazo

Beneficio	Descripción	Plazo
Ahorro en costo de dosificación	Un sistema de dosificación automatizado disminuirá el desperdicio de químicos y aditivos, racionalizando el uso del floculante, evitando desperdicios por mala determinación de las variables involucradas.	Mediano
Ahorro global de costo de producción	Al mejorar la supervisión de todo el sistema de producción se reducen los tiempos de respuesta, esto conlleva a que el control de las variables necesarias en la planta sea mas efectivo, disminuyendo el desperdicio de insumos y evitando situaciones indeseadas.	Largo
Supervisión de bocatoma	La supervisión sobre el comportamiento del agua en la bocatoma puede mejorar el proceso de potabilización en la planta, la supervisión constante en la bocatoma permite conocer su estado en todo momento y permite anticiparse a situaciones indeseadas en la planta.	Corto
Mejoramiento de condiciones laborales	Una central de supervisión y elementos de control monitoreando constantemente el proceso, permitirá que los operarios disminuyan sus rondas permanentes por toda la planta, dichas ocasiones son realizadas bajo cualquier condición meteorológica.	Mediano
Mejoramiento de la calidad del agua	Este beneficio se logra a través de la optima adición y la eliminación de algunos aditivos al agua. Los tiempos de respuesta ante eventos indeseables repercute directamente en la calidad final del producto.	Mediano
Reducción de tiempos de respuesta	Supervisando las condiciones del agua desde la bocatoma y durante todo el proceso en todo momento y con tiempos reducidos de monitoreo se puede actuar mas rápidamente para evitar condiciones indeseables en el proceso.	Corto

Fuente: Elaboración propia, agosto de 2010.

El cambio de material floculante, su dosificación y el modo de adición son características que permiten reducir costos de producción. Se propone el uso de Policloruro de aluminio en presentación líquida [10], este material se recomendó como opción de cambio para el sulfato de aluminio, por que además no requiere de la adición de cal para el ajuste del pH. El floculante propuesto tiene excelente desempeño según las conclusiones de estudios anteriormente realizados en la planta por estudiantes del programa de ingeniería ambiental.

El coagulante policloruro de aluminio (PAC002), trabaja de manera adecuada con dosis de 20mg/L, inferior a la determinada para sulfato de aluminio, además de tener un rango mayor de pH entre 4 y 8 unidades de pH; no consume alcalinidad y no disminuye el pH del agua tratada, este coagulante cumple con los lineamientos de la resolución 2115 de 2007 en cuanto a turbiedad y color. [10] El sistema automatizado de adición de floculantes garantiza la dosis optima necesaria para una correcta floculación usando el floculante propuesto, evitando así los desperdicios de material.

En la tabla 33 se establece una relación de los dos floculante.

Tabla 55 Relación de costos de floculantes

Material	Policloruro de aluminio	Sulfato de aluminio	Cal
Detalle			
Dosis (mg/L)	20	25	2,5
Precio (\$/Kg)	1130	882	335,24
Costo de tratamiento de 1 m³ de agua (\$)	22,6	22,05	0,84
Total	\$ 22,6	\$ 22,9	
Costo del tratamiento de 76.204, 8 m³/dia	\$ 1.722.228	\$1.744.183	

Fuente: Estudio de factibilidad de implementación del policloruro de aluminio como sustituto del sulfato de aluminio tipo b, en la planta de tratamiento "El Tablazo" de Popayán, Ingeniería ambiental, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia. 2009.

Se puede apreciar que el costo del floculante propuesto es mas alto, pero hay que tener en cuenta que el floculante actual requiere de químicos adicionales para poder mantener las condiciones de calidad del agua en cuanto al pH se refiere, lo cual representa al final una reducción global en los costos de producción pues se requiere un aditivo menos en el proceso.