

**MODELO DE AUTOMATIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUA DEL ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE LLORÓ.**

**OVIDIO ANTONIO GUERRERO MOSQUERA
JACKSON BERNEY RENTERIA MENA**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA DE ENVIGADO
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
ENVIGADO
2009**

**MODELO DE AUTOMATIZACION PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUA DEL MUNICIPIO DE LLORÓ.**

**OVIDIO ANTONIO GUERRERO MOSQUERA
JACKSON BERNEY RENTERIA MENA**

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Electrónico

**Asesor
Luis Eduardo García Jaimes
Especialista en control y automatización**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA DE ENVIGADO
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
ENVIGADO
2009**

DEDICATORIA

A la comunidad del municipio de Lloró, para que en un futuro muy cercano se haga realidad este proyecto.

A nuestras familias, muy especialmente a mis sobrinos, a nuestras esposas, a nuestros amigos y en general a todas las personas que hicieron posible este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Principalmente le doy gracias al Dios de la vida. También le doy gracias a mi familia, a mi esposa y a mis amigos, por ese apoyo incondicional, por creer en mí y haberme brindado la oportunidad de hacer realidad parte de mi proyecto de vida.

Ovidio Guerrero

Primordialmente le doy gracias a mi familia, por haber creído en mí y haberme brindado su apoyo incondicional que siempre llevare presente en esta nueva etapa de mi vida.

Jackson Renteria

Muchísimas gracias a nuestro asesor, Luis Eduardo García Jaime, gracias mil gracias por habernos acompañado y por toda su enseñanza durante todo este proceso; gracias porque además de ser un excelente profesor, es una buena persona y llena de humildad. También, agradecemos a todas aquellas personas que fueron nuestros profesores, por todo el acompañamiento en nuestro proceso de formación.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION	19
1. PRESENTACION DEL TRABAJO DE GRADO.....	20
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	20
1.1.1 DEFINICION DEL PROBLEMA.....	20
1.1.2 FORMULACIÓN.....	21
1.2 OBJETIVOS	21
1.2.1 OBJETIVO GENERAL.....	21
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
1.3 JUSTIFICACION	22
1.4 DISEÑO METODOLOGICO	22
1.4.1 ESTRATEGIAS METODOLÓGICAS.....	22
1.4.2 MODALIDAD DEL TRABAJO DE GRADO.....	24
1.5 PRESUPUESTO	24
1.6 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	27
2. DETERMINACION DE LOS EQUIPOS Y LA INFRAESTRUCTURA	28
2.1 ELEMENTOS CONCEPTUALES PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA	28
2.1.1 POTABILIZACIÓN DEL AGUA.....	28
2.1.2 PLANTA DE POTABILIZACIÓN DE AGUA	29
2.2 AUTOMATIZACIÓN DE ESTACIONES DE TRATAMIENTO DE AGUA	32
2.2.1 ANTECEDENTES DE AUTOMATIZACIÓN DE ETAP'S	33
2.2.2 ELEMENTOS TECNOLÓGICOS PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS	34
2.3 ASPECTOS LEGALES A TENER EN CUENTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO	36
2.4 DIAGNÓSTICO ACTUAL DE LA ETAP DEL ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE LLORÓ	36
2.4.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL MUNICIPIO DE LLORÓ	36

2.4.2 FUNCIONAMIENTO ACTUAL DE LA ETAP DEL ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE LLORÓ	37
2.4.3 PRESTACIÓN DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE EN EL ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO	40
2.5 SOLUCIÓN PROPUESTA PARA LA INFRAESTRUCTURA DE LA ETAP DE LLORÓ	40
2.6 CAPACIDAD DE DISEÑO DE LA ETAP DEL ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE LLORÓ	44
2.6.1 CALIDAD DEL AGUA A TRATAR	44
2.6.2 CARACTERÍSTICAS Y VENTAJAS DEL DISEÑO	44
2.6.3 PARÁMETROS QUE DETERMINAN LA CALIDAD DEL AGUA	44
2.6.4 QUÍMICOS QUE DEBEN ADICIONARSE AL AGUA PARA SU POTABILIZACIÓN	46
2.7 ESPECIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS DE INSTRUMENTACIÓN E INFRAESTRUCTURA NECESARIOS PARA EL DISEÑO DEL MODELO DE AUTOMATIZACIÓN PARA LA ETAP DE LLORÓ	52
3. ESTABLECIMIENTO DEL GRADO DE AUTOMATIZACION	54
3.1 CONSIDERACIONES PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL GRADO DE AUTOMATIZACIÓN	54
3.1.1 MEDICIÓN DE FLUJO DE ENTRADA Y DOSIFICACIÓN DE QUÍMICOS .	54
3.1.2 MEDICIÓN DE LA TURBIDEZ	55
3.1.3 NIVEL DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO	55
3.1.4 FLOCULACIÓN	55
3.1.5 CONTROL LÓGICO	55
3.1.6 OTRAS CONSIDERACIONES	55
3.2 DISEÑO DEL MODELO DE AUTOMATIZACIÓN PARA CADA UNO DE LOS PROCESOS PROPUESTOS PARA LA ETAP DEL ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE LLORÓ	56
3.2.1 MODELO DE AUTOMATIZACIÓN PARA MEDICIÓN DEL FLUJO A LA ENTRADA Y LA DOSIFICACIÓN DEL SULFATO DE ALUMINIO	56
3.2.2 MODELO DE AUTOMATIZACIÓN PARA MEDICIÓN DEL FLUJO A LA ENTRADA Y LA DOSIFICACIÓN DEL CARBONATO DE SODIO	58

3.2.3 MODELO DE AUTOMATIZACIÓN PARA EL SISTEMA DE BOMBEO Y CONTROL DEL NIVEL DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO	61
3.2.4 MODELO DE AUTOMATIZACIÓN PARA LA DOSIFICACIÓN DEL HIPOCLORITO DE CALCIO	63
3.3 DISEÑO DEL MODELO DE AUTOMATIZACIÓN PARA CADA UNO DE LOS PROCESOS PROPUESTOS PARA LA ETAP DEL ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE LLORÓ	67
3.3.1 EQUIPOS A UTILIZAR EN LA IMPLEMENTACIÓN DEL DISEÑO	72
3.3.2 FUNCIONAMIENTO DE LA ETAP AL MOMENTO DE IMPLEMENTAR EL DISEÑO DE AUTOMATIZACIÓN GENERAL	80
4. ANALISIS FINANCIERO PARA LA IMPLEMENTACION DEL DISEÑO DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACION EN LA ETAP DEL MUNICIPIO DE LLORÓ ..	83
5. FORMULACION DE LA PROPUESTA DEL DISEÑO DEL NUEVO ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE LLORÓ	86
6. CONCLUSIONES	87
7. RECOMENDACIONES	88
ANEXOS	89

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Presupuesto global del trabajo	25
Tabla 2. Descripción de los gastos de personal	25
Tabla 3. Descripción de materiales y suministros	25
Tabla 4. Descripción de las salidas de campo	26
Tabla 5. Descripción bibliografía	26
Tabla 6. Descripción equipos	26
Tabla 7. Descripción publicaciones	26
Tabla 8. Cronograma de actividades	27
Tabla 9. Parámetros organolépticos determinantes en la calidad del agua	47
Tabla 10. Algunos parámetros físico-químicos determinantes en la calidad del agua	47
Tabla 11. Lista de equipos necesarios para la automatización de la planta de tratamiento de agua del municipio de Iloró	54
Tabla 12. Requerimientos para la selección del PLC	73
Tabla 13. Costo de los equipos de automatización	86
Tabla 14. Costo general de implementación del diseño del sistema de automatización para la ETAP del municipio de Iloró	87

TABLA DE FIGURAS

Figura 1. ETAP de Tecnología Convencional.....	32
Figura 2. ETAP del acueducto del municipio de Lloró en la actualidad.....	38
Figura 3. Vertedero o canaleta Parshall.....	43
Figura 4. Equipo para prueba de jarras (Jar test).....	52
Figura 5. Diagrama de instrumentación para la dosificación del sulfato de Al.	57
Figura 6. Diagrama de flujo para la dosificación del sulfato de aluminio.	58
Figura 7. Diagrama de instrumentación para la dosificación del sulfato de Al	59
Figura 8. Diagrama de flujo del proceso de dosificación del carbonato de sodio. .	61
Figura 9. Diagrama de instrumentación para el sistema de bombeo y control del nivel del tanque de almacenamiento.	62
Figura 10. Diagrama de flujo para el control del sistema de bombeo.....	63
Figura 11. Diagrama de instrumentación para la medición del flujo de agua tratada y la dosificación de hipoclorito de Ca.	65
Figura 12. Diagrama de flujo para la dosificación de hipoclorito de calcio	66
Figura 14. Conexión del medidor de nivel ultrasónico al PLC.	69
Figura 15. Instalación típica de un dosificador.	71
Figura 16. Esquema conexionado básico de un switch de nivel de dos hilos. ...	72
Figura 17. Esquema de conexión de la estación de control para las bombas con el PLC.....	72
Figura 18. PLC OCS HE-XT-104.....	74
Figura 19. Switch de nivel RAL 02 a dos puntos.	75
Figura 20. Medidor de nivel ultrasónico Microsonic BM98	76
Figura 21. Transmisor de pH con indicación digital.....	77
Figura 22. Transmisor de cloro residual.	78
Figura 23. Turbidímetro digital portátil modelo 2100P.....	79
Figura 24. Bomba dosificadora Beta0220.	80
Figura 25. Diagrama de flujo del funcionamiento de la ETAP automatizada.....	83

LISTA DE PLANOS

PLANO 1. Planta de tratamiento de agua del acueducto de Lloró actualmente ...	40
PLANO 2. Infraestructura recomendada para la ETAP del acueducto de Lloró ...	44
PLANO 3. Plano general de instrumentación y control de la ETAP de Lloró automatizada.....	68

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. ARTÍCULO	113
ANEXO B. COTIZACION DEL PLC	123
ANEXO C. COTIZACION DE LOS DOSIFICADORES	125
ANEXO D. CARTA DE PRESENTACION DE LA PROPUESTA ANTE LA ALCALDIA	126
ANEXO E. CONSTANCIA DE VISITA A LA ETAP	127

GLOSARIO

Acidez Capacidad de una solución acuosa para reaccionar con iones hidroxilo. Se mide cuantitativamente por titulación con una solución alcalina normalizada y se expresa usualmente en términos de mg/l como carbonato de calcio.

Acueducto Sistema de abastecimiento de agua para una población.

Aducción Componente a través del cual se transporta agua cruda, ya sea a flujo libre o a presión.

Agua cruda Agua superficial o subterránea en estado natural; es decir, que no ha sido sometida a ningún proceso de tratamiento.

Agua potable Agua que por reunir los requisitos organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos, en las condiciones señaladas en el Decreto 475 de 1998, puede ser consumida por la población humana sin producir efectos adversos a la salud.

Aguas lluvias Aguas provenientes de la precipitación pluvial.

Automatización Conversión de los procesos manuales o corporales en procesos automáticos.

Bocatoma Estructura hidráulica que capta el agua desde una fuente superficial y la conduce al sistema de acueducto.

Calidad del agua Conjunto de características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas propias del agua.

Canal Cauce artificial, revestido o no, que se construye para conducir las aguas lluvias hasta su entrega final en un cauce natural. Conducto descubierto que transporta agua a flujo libre.

Capacidad de almacenamiento Volumen de agua retenido en un tanque o embalse.

Captación Conjunto de estructuras necesarias para obtener el agua de una fuente de abastecimiento.

Caudal de diseño Caudal estimado con el cual se diseñan los equipos, dispositivos y estructuras de un sistema determinado.

Caudal medio diario Consumo medio durante veinticuatro horas, obtenido como el promedio de los consumos diarios en un período de un año.

Cloración Aplicación de cloro, o compuestos de cloro, al agua residual para desinfección; en algunos casos se emplea para oxidación química o control de olores.

Cloro residual Concentración de cloro existente en cualquier punto del sistema de abastecimiento de agua, después de un tiempo de contacto determinado.

Coagulación Aglutinación de las partículas suspendidas y coloidales presentes en el agua mediante la adición de coagulantes.

Coagulantes Sustancias químicas que inducen el aglutinamiento de las partículas muy finas, ocasionando la formación de partículas más grandes y pesadas.

Concentración Denomínase concentración de una sustancia, elemento o compuesto en un líquido, la relación existente entre su peso y el volumen del líquido que lo contiene.

Concreto Mezcla homogénea de material cementante, agregados inertes y agua, con o sin aditivos.

Conducción Componente a través del cual se transporta agua potable, ya sea a flujo libre o a presión.

Consumo Volumen de agua potable recibido por el usuario en un periodo determinado.

Desarenador Cámara destinada a la remoción de las arenas y sólidos que están en suspensión en el agua, mediante un proceso de sedimentación.

Desinfección Proceso físico o químico que permite la eliminación o destrucción de los organismos patógenos presentes en el agua.

Dosificación Acción mediante la cual se suministra una sustancia química al agua.

Edificio de operación Área o conjunto de dependencias de una planta de tratamiento de agua potable que cumple determinadas funciones auxiliares, directa o indirectamente ligadas al proceso de tratamiento, necesarias para su correcta operación, mantenimiento y control.

Ensayo de jarras Ensayo de laboratorio que simula las condiciones en que se realizan los procesos de oxidación química, coagulación, floculación y sedimentación en la planta.

Estación de bombeo Componente destinado a aumentar la presión del agua con el objeto de transportarla a estructuras más elevadas.

Etapas de la planta de tratamiento Cada uno de los procesos de tratamiento.

Filtración Proceso mediante el cual se remueven las partículas suspendidas y coloidales del agua al hacerlas pasar a través de un medio poroso.

Floculación Aglutinación de partículas inducida por una agitación lenta de la suspensión coagulada.

Fuente de abastecimiento de agua Depósito o curso de agua superficial o subterráneo, natural o artificial, utilizado en un sistema de suministro de agua.

Mezcla rápida Agitación violenta para producir dispersión instantánea de un producto químico en la masa de agua.

Operación Conjunto de acciones para mantener en funcionamiento un sistema.

Optimización Proceso de diseño y/o construcción para lograr la mejor armonía y compatibilidad entre los componentes de un sistema o incrementar su capacidad o la de sus componentes, aprovechando al máximo todos los recursos disponibles.

pH Logaritmo, con signo negativo, de la concentración de iones hidrógeno, en moles por litro.

pH óptimo Valor de pH que produce la máxima eficiencia en un proceso determinado.

Planta de tratamiento de agua potable ETAP *sin. Planta de potabilización.* Conjunto de obras, equipos y materiales necesarios para efectuar los procesos que permitan cumplir con las normas de calidad del agua potable.

Presión Fuerza por unidad de superficie.

Red de distribución o Red Pública Conjunto de tuberías, accesorios y estructuras que conducen el agua desde el tanque de almacenamiento o planta de tratamiento hasta los puntos de consumo.

Red matriz Parte de la red de distribución que conforma la malla principal de servicio de una población y que distribuye el agua procedente de la conducción, planta de tratamiento o tanques de compensación a las redes secundarias. La red matriz llamada también primaria, mantiene las presiones básicas de servicio para el funcionamiento correcto de todo el sistema, y generalmente no reparte agua en ruta.

Reglamento Técnico Reglamento de carácter obligatorio expedido por la autoridad competente, con fundamento en la Ley, que suministra requisitos técnicos, bien sea directamente o mediante referencia o incorporación del contenido de una norma nacional, regional o internacional, una especificación técnica o un código de buen procedimiento. Decreto 2269/93

Sedimentación (precedida de coagulación) Proceso en el cual los sólidos suspendidos en el agua se decantan por gravedad, previa adición de químicos coagulantes.

Sistema de conducción Conjunto de tuberías, ductos o canales que sirven para conducir un fluido.

Sistema de control El sistema de control permite mantener variables de un proceso dentro de un rango de operación, tomando acciones a partir de comparar el valor deseado con el valor requerido. Un sistema de control está compuesto usualmente por los siguientes elementos Instrumentación de medición-transductor, transmisor, controlador, actuador y sistema de registro.

Sistema de potabilización Conjunto de procesos unitarios para purificar el agua y que tienen por objeto hacerla apta para el consumo humano.

Sistema de suministro de agua potable Conjunto de obras, equipos y materiales utilizados para la captación, aducción, conducción, tratamiento y distribución del agua potable para consumo humano.

Sólidos suspendidos Pequeñas partículas de sólidos dispersas en el agua; no disueltas.

Sustancias suspendidas Materiales que se sostienen en equilibrio en la superficie del agua y que influyen en su apariencia.

Tanque de almacenamiento Depósito destinado a mantener agua para su uso posterior.

Tratamiento (para potabilización) Conjunto de operaciones y procesos que se realizan sobre el agua cruda, con el fin de modificar sus características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas, para hacerla potable de acuerdo a las normas establecidas en el Decreto 475 de 1998.

Turbiedad Propiedad óptica del agua basada en la medida de luz reflejada por las partículas en suspensión.

Valor admisible Valor establecido para la concentración de un componente o sustancia, que garantiza que el agua de consumo humano no representa riesgo para la salud del consumidor.

Vertedero Dispositivo hidráulico de rebose de un líquido.

PARAGRAFO: Las siguientes siglas que aparecen en el texto del Presente trabajo de grado tienen el siguiente significado y así deben ser identificadas:

ETAP Planta de Tratamiento de Agua Potable

RAS Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico.

RESUMEN

En este trabajo de grado se realizó el diseño de un modelo de automatización para la planta de tratamiento de agua (ETAP) del municipio de Lloró, partiendo de las recomendaciones hechas para las infraestructuras necesarias para el tratamiento del agua, en base al diagnóstico realizado y la verificación que el proceso de potabilización del agua que tiene lugar en esta ETAP, no cumple con las normas técnicas fijadas por el RAS.

El modelo de automatización de esta ETAP, consiste en realizar de forma automática, en lo posible sin la intervención del hombre, los procesos que se vienen realizando de forma manual; ajustados a las normas que rigen al sector de agua potable, garantizando de esta manera que el proceso de tratamiento para la potabilización del agua este dentro de las normas, la optimización de costos y personal, y la agilización del ciclo de tratamiento del agua.

Se analizó la operación y los resultados del desempeño de la planta de tratamiento actual que consiste en un sedimentador y un tanque de almacenamiento. Posteriormente, se propuso un diseño para la infraestructura de la ETAP, y sobre este, se realizó el diseño del plano de automatización, el cual incluye cantidad, tipo y ubicación de los equipos a utilizar, así como una descripción del funcionamiento de la planta en el momento en que se aplique dicho diseño.

Además, se realizó el análisis financiero, a través de la evaluación del proyecto, presentándose el costo específico de los elementos y el costo global del proyecto.

Finalmente se hizo una propuesta de mejoramiento de la ETAP utilizando la metodología BPIN, donde se propuso la construcción y reacondicionamiento de algunas infraestructuras y los beneficios de la implementación del diseño del modelo de automatización.

ABSTRACT

This work was carried out to design level of model for the automation water treatment plant (ETAP) Lloró municipality, based on the recommendations made for the necessary infrastructure for water treatment, based on the diagnosis made and verification that the water purification process that occurs at this ETAP, does not meet the technical standards set by the RAS.

The automation model to this ETAP, is done automatically, if is possible without human intervention, the processes that have been conducted manually, adjusted to the rules of govern and water sector, this ensures the treatment process for drinking water which is within the rules, optimization of costs and staff and streamlining the water treatment cycle.

It analyzes the operation and performance outcomes of current treatment plant consist of a separator and a storage tank. Then proposed a design for the infrastructure ETAP, and on this, was performed design automation level, which includes quantity, type and location of the equipment used, and a description of the operation of the plant in when use of that design.

In addition, the financial analysis was performed through the evaluation of the project, presenting the specific cost elements and the overall project cost.

Finally there was a proposal to improve the methodology used BPIN ETAP, which proposed the construction and rehabilitation of some infrastructure and benefits of the implementation of design automation model.

INTRODUCCION

El presente trabajo de grado se desarrollo en el sector de agua potable, siendo su principal objetivo realizar el diseño de un modelo de automatización para la ETAP del acueducto del municipio de Lloró, para brindar una alternativa de solución a la falta de agua potable por la que pasan más de 2750 habitantes del casco urbano del municipio de Lloró, el cual se encuentra ubicado en el occidente del país, específicamente en el departamento del Chocó.

El agua tal como se encuentra en la naturaleza, para ser utilizada sin riesgo para el consumo humano requiere ser tratada, para eliminar las partículas y organismos que pueden ser dañinos para la salud. El tratamiento del agua tiene lugar en una planta de tratamiento de agua (ETAP), en donde los procesos de las diferentes etapas del tratamiento del agua pueden hacerse de forma manual o automática. Para este trabajo, se eligió la segunda forma (automatización) de realización del proceso.

La automatización de procesos brinda la optimización del costo y el tiempo de la ejecución de un proceso, en lo posible sin la intervención del hombre; además garantiza una mejor calidad del producto que se obtiene, con respeto al producto que se obtendría si se realizara el mismo proceso de forma manual. Y es por esta razón, que en el presente trabajo se tomo la automatización como la mejor alternativa para la solución del problema de potabilización del agua y por consiguiente a la falta de abastecimiento a la red de distribución que lleva el liquido hacia los hogares, que presenta el acueducto del municipio de Lloró.

El desarrollo de este trabajo de grado se ejecuto en cuatro fases, las cuales son: La fase de determinación de los equipos y la infraestructura para la potabilización del agua, precedida de un anteproyecto; la fase de diseño, en la cual se estableció el grado de automatización y se realizo el levantamiento de los planos; la fase de análisis financiero, donde se presenta el costo del proyecto; y la fase de formulación de la propuesta de implementación del diseño, ante la alcaldía del municipio de Lloró. Todo esto en base a la investigación realizada a través de las revisiones bibliográficas, las salidas de campos, y principalmente las necesidades y presupuesto disponible por parte del municipio.

1. PRESENTACION DEL TRABAJO DE GRADO

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.1. Definición del problema. El municipio de Lloró ubicado en el suroccidente del departamento del Chocó, es la parte del mundo con mayor precipitación de lluvias anualmente y a su vez se encuentra ubicado en medio de dos ríos, el río Atrato y río Andagueda, siendo estas sus principales fuentes superficiales de agua y además de estas cuenta con muchas otras.

La cabecera municipal cuenta con una población cercana a los 2750 habitantes. A pesar del número de habitantes, en la actualidad el municipio no cuenta con el servicio de agua potable ya que la planta de tratamiento de agua, no cuenta con los medios necesarios para realizar el proceso de tratamiento de agua según las normas nacionales de calidad de agua potable¹, ni con la adecuada infraestructura (edificio de operación, desarenadores, tanques de almacenamiento, sedimentadores, floculadores, sistema de desinfección del agua etc), ni tampoco con los instrumentos de medición y control como medidores de flujo, medidores de nivel, medidores de turbidez, dosificadores de productos para floculación, cloración y desinfección del agua que permitan un debido proceso de tratamiento para la potabilización del agua.

Actualmente el acueducto cuenta con dos tanques, uno para el almacenamiento del agua que proveniente de la boca toma y para posteriormente mezclarla con cloro y el otro para la distribución del agua hacia los hogares. También cuenta con un tanque plástico de una capacidad de 250 Lts, utilizado para almacenar cloro, y por último cuenta con dos motobombas, cada una capacidad nominal de 13,4 Kw, utilizadas para bombear el agua desde el tanque de almacenamiento hasta el tanque de distribución.

El proceso realizado en la planta de tratamiento de agua del acueducto de Lloro en su totalidad se realiza manualmente, partiendo del llenado de los tanques y finalizando en la distribución del agua hacia los hogares; y en general, el producto final no es agua potable, por consiguiente no es apta para el consumo humano, ya que no cumple con las normas de calidad de agua vigentes² para las plantas de

¹Ministerio de Desarrollo Económico Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico ras - 2000

² Ministerio de Desarrollo Económico Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico ras - 2000

tratamiento de agua para consumo humano. Además de que el proceso de tratamiento de agua no cumple con las condiciones exigidas por la Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico, el servicio de distribución del agua prestado por el acueducto es insuficiente ya que es ejecutado por un solo operario, que no cuenta con ningún tipo de estudio técnico y la prestación del servicio es muy limitado, prestándose cada 12 horas (6 A.M. y 6 P.M.), con una duración de 1½ hora.

1.1.2 Formulación. ¿Cómo mejorar y agilizar el proceso de potabilización del agua en la planta de tratamiento de agua del acueducto de Lloró?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General. Diseñar un modelo de automatización para la planta de tratamiento de agua del acueducto del municipio de Lloro (Chocó.).

1.2.2 Objetivos Específicos.

- Determinar los equipos y la infraestructura necesaria para la adecuada potabilización del agua en el acueducto del municipio de Lloro.
- Establecer el grado de automatización necesaria para el sistema de potabilización del agua del acueducto de Lloro de acuerdo al consumo y a las necesidades del municipio en este aspecto.
- Realizar el análisis financiero para la implementación del diseño del sistema de automatización de la planta de tratamiento de agua según las necesidades y el presupuesto disponible por parte del municipio de Lloro.
- Formular una propuesta de diseño del nuevo acueducto de Lloró de modo que el proceso de potabilización del agua cumpla con las normas exigidas para este proceso.

1.3 JUSTIFICACION

Con este proyecto se busca brindar una alternativa de solución a una necesidad real de una comunidad, como la que presenta el municipio de Lloro, que no cuenta con el suministro de agua potable para sus pobladores, a pesar que es un pueblo pequeño con diversas fuentes superficiales de agua y que no presenta crecimiento en su número de predios, debido al limitante de encontrarse en medio de dos ríos.

La selección de este problema como proyecto, tiene como motivación nuestra proyección profesional a la comunidad presentando soluciones de automatización de procesos en un medio que carece de la tecnología de punta y desarrollo de aplicaciones de esta tecnología, como lo es departamento del Choco, donde ninguno de sus municipios cuenta con el suministro de agua potable.

Con el proyecto se pretende dar una solución económica y efectiva al problema de potabilización del agua en el acueducto del municipio de Lloro, que a diferencia de otros acueductos, este no cuenta con equipos de instrumentación y control como medidores de flujo, medidores de nivel, medidores de turbidez, dosificadores de productos para la floculación, cloración y desinfección del agua , ni con la infraestructura como edificio de operaciones, desarenadores, floculadores, sedimentadores, tanques de almacenamiento, sistema de desinfección, ni tampoco cuenta con personal calificado y ni con la electrónica como tal; utilizando los medios y equipos existentes, presentando además, los criterios para la adquisición de los equipos faltantes o de renovación de los que sean obsoletos.

Lo anterior se hará utilizando la tecnología existente en el ámbito de potabilización de agua y adaptándola a las posibilidades, necesidades y exigencias específicas del municipio en esta área.

1.4 DISEÑO METODOLÓGICO

1.4.1 Estrategias Metodológicas. Las estrategias metodológicas que se utilizaron en el desarrollo del presente proyecto, fueron:

Revisión documental: Esta estrategia consistirá en estudiar y aplicar el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico para los sistemas de acueducto, propuesto por los Ministerios Ambiente y Desarrollo de la República de Colombia; y así mismo la exploración de los distintos proyectos realizados en este campo por Universidades y empresas dedicadas a soluciones de automatización. Se busca recolectar y analizar la mayor información posible cuya utilidad este directamente relaciona con los objetivos propuestos en este proyecto, para posteriormente tratarla y adaptarla a las necesidades del mismo.

También se harán visitas a las plantas de tratamiento de agua, de baja capacidad para conocer la infraestructura, los equipos y maquinarias que componen su estructura; y al mismo tiempo conocer como realizan el proceso de potabilización del agua, en los acueductos que se determinen visitar.

Además se harán visitas a la planta de tratamiento de agua del acueducto del municipio de Lloró, para realizar un diagnostico de las condiciones actuales, y en estas se tomara fotografías con todos los detalles posibles de esta planta para poder percibir digitalmente el entorno real de esta y de acuerdo con el diagnostico y la información fotográfica realizar un levantamiento de planos del sistema de acueducto, planos de estación de bombeo de aguas, planos de instrumentación y control y sobre estos realizar el diseño.

Selección de la instrumentación y equipos necesarios para la automatización de la planta de tratamiento de agua.

Se analizaran cuales son los elementos que deben hacer parte del sistema de automatización teniendo en cuenta aspectos de calidad y seguridad. Se someterá a una evaluación para determinar el grado de automatización mínimo necesario de la planta de tratamiento de agua del acueducto del municipio de Lloró de acuerdo a sus necesidades actuales y/o futuras.

Diseño del sistema de automatización de la planta de tratamiento de agua.

En esta etapa se realizara el levantamiento de los planos de la planta de tratamiento de agua del acueducto del municipio de Lloró y posteriormente sobre

estos se realizara el diseño de los planos eléctricos y de instrumentación para los procesos de floculación, desinfección y cloración, y el proceso de bombeo.

Presentación del producto final.

Se elaborara un proyecto de extensión en el cual se entregaran los requerimientos y condiciones necesarias para la potabilización del agua; y también se entregara el levantamiento de los planos de instrumentación y control para la implementación del sistema en esta planta de tratamiento.

1.4.2 Modalidad del Trabajo de Grado.

Tipo de proyecto. Este es un proyecto de desarrollo tecnológico de enfoque cuantitativo, ya que en este se realizaran mediciones y cálculos.

Tipo de Trabajo. Este proyecto es de tipo prospectiva; ya que principalmente se hará un diagnostico de las condiciones actuales de la planta de tratamiento y del acueducto como tal, y posteriormente se realizara un diseño del modelo de un sistema de automatización que se ajuste a las necesidades de esta planta de tratamiento (volumen de agua tratada, grado de turbidez, cloración y desinfección), para mejorar las condiciones del proceso de tratamiento que permitan producir un agua de excelente calidad para el consumo humano.

Método de Investigación Aplicado. El método de investigación aplicado en el desarrollo del presente proyecto es el *deductivo*, ya que partiendo del análisis de las necesidades y condiciones establecidas para obtener un agua potable de alta calidad y del control de procesos requeridos para lograr este objetivo, se presenta un proyecto que permite la automatización total de la planta de tratamiento de agua de acueducto del municipio de Iloro y la obtención de agua potable de alta calidad; se parte entonces de algo general a algo particular.

1.5 PRESUPUESTO

El presupuesto total del proyecto se presenta en las siguientes tablas, siendo la primera de ellas, la **Tabla 1**, el presupuesto global y las siguientes, las especificaciones de este presupuesto.

Tabla 1. Presupuesto global del trabajo.

PRESUPUESTO GLOBAL DEL TRABAJO DE GRADO				
RUBROS	FUENTES			TOTAL
	Estudiantes	IUE	Externa	
Personal	\$ 1.600.000	\$800.000	\$ 0	\$ 2.400.000
Material y suministros	\$ 144.000	\$ 0	\$ 0	\$ 144.000
Salidas de campo	\$ 407.000	\$ 0	\$ 0	\$ 407.000
Bibliografía	\$ 290.000	\$ 240.000	\$ 0	\$ 530.000
Equipos	\$ 1.680.000	\$ 0	\$ 0	\$ 1.680.000
Publicaciones	\$ 60.000	\$ 0	\$ 0	\$ 60.000
TOTAL	\$ 4.091.000	\$ 1.040.000	\$ 0	\$ 5.131.000
IMPREVISTOS	10 %			\$ 513.100
GRAN TOTAL				\$ 5.644.100

Tabla 2. Descripción de los gastos de personal.

DESCRIPCIÓN DE LOS GASTOS DE PERSONAL						
Nombre de Estudiantes	FUNCIÓN en el trabajo	DEDICACIÓN horas/semana	FUENTES			TOTAL
			Estudiantes	IUE	Externa	
Estudiantes	Diseño	4 horas/sem	\$ 1.600.000	\$ 800.000	\$ 0	\$ 2.400.000
TOTAL			\$ 1.600.000	\$ 800.000	\$ 0	\$ 2.400.000

Tabla 3. Descripción de materiales y suministros.

DESCRIPCIÓN DEL MATERIALES Y SUMINISTROS				
Material	FUENTES			TOTAL
	Estudiantes	IUE	Externa	
Cartuchos de tinta	\$ 40.000	\$ 0	\$ 0	\$ 40.000
Papelería	\$ 104.000	\$ 0	\$ 0	\$ 104.000
TOTAL	\$ 144.000	\$ 0	\$ 0	\$ 144.000

Tabla 4. Descripción de las salidas de campo

DESCRIPCIÓN DE LAS SALIDAS DE CAMPO				
DESCRIPCIÓN DE LAS SALIDAS DE CAMPO	FUENTES			TOTAL
	Estudiantes	IUE	Externa	
Viaje de Visita al acueducto	\$ 351.000	\$ 0	\$ 0	\$ 351.000
Visita a otros Acdto	\$ 56.000	\$ 0	\$ 0	\$ 56.000
TOTAL	\$ 407.000	\$ 0	\$ 0	\$ 407.000

Tabla 5. Descripción bibliografía.

DESCRIPCIÓN BIBLIOGRAFIA				
DESCRIPCIÓN BIBLIOGRAFIA	FUENTES			TOTAL
	Estudiantes	IUE	Externa	
Libros	\$ 50.000	\$ 190.000	\$ 0	\$ 240.000
Internet	\$ 240.000	\$ 50.000	\$ 0	\$ 290.000
TOTAL	\$ 290.000	\$ 240.000	\$ 0	\$ 530.000

Tabla 6. Descripción equipos.

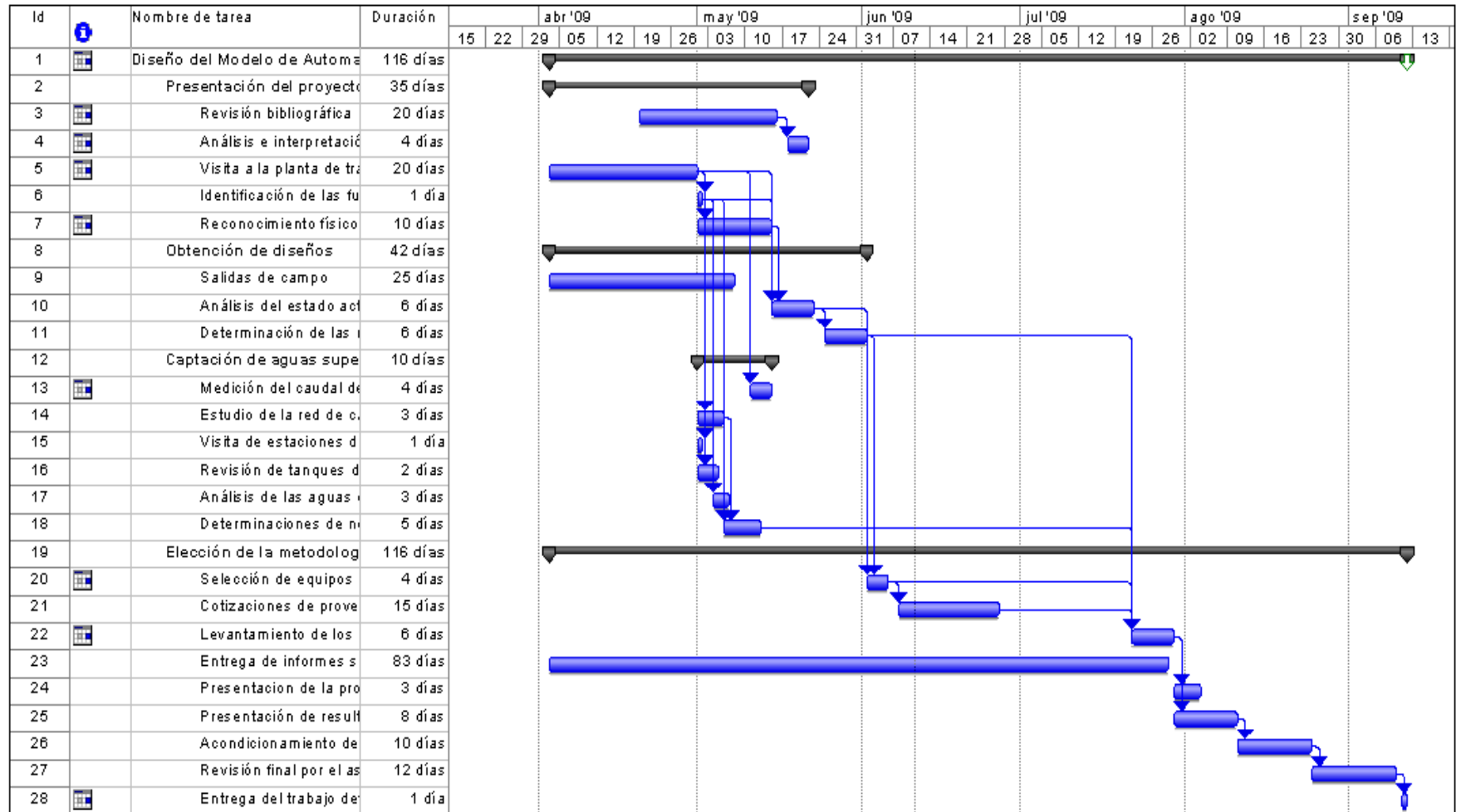
DESCRIPCIÓN EQUIPOS				
DESCRIPCIÓN EQUIPOS	FUENTES			TOTAL
	Estudiantes	IUE	Externa	
Computador	\$ 1.200.000	\$ 0	\$ 0	\$ 1.200.000
Impresora	\$ 120.000	\$ 0	\$ 0	\$ 120.000
Cámara digital	\$ 360.000	\$ 0	\$ 0	\$ 360.000
TOTAL	\$ 1.680.000	\$ 0	\$ 0	\$ 1.680.000

Tabla 7. Descripción publicaciones.

DESCRIPCIÓN PUBLICACIONES				
DESCRIPCIÓN PUBLICACIONES	FUENTES			TOTAL
	Estudiantes	IUE	Externa	
Impresión y empastado del Trab	\$ 40.000	\$ 0	\$ 0	\$ 40.000
Fotocopias	\$ 20.000	\$ 0	\$ 0	\$ 20.000
TOTAL	\$ 60.000	\$ 0	\$ 0	\$ 60.000

1.6 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Tabla 8. Lista de Actividades.



2. DETERMINACION DE LOS EQUIPOS Y LA INFRAESTRUCTURA.

Para la determinación de los equipos de instrumentación y la infraestructura que hacen parte del modelo de automatización de la planta de tratamiento de agua del municipio de Lloró, fue necesario conocer los siguientes elementos que integran y garantizan un adecuado proceso de potabilización del agua según el RAS, tales como:

2.1 ELEMENTOS CONCEPTUALES PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA.

2.1.1 Potabilización del agua. Elementos conceptuales de la potabilización:

- **El agua potable.**

Es el agua que por reunir los requisitos organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos es apta y aceptable para el consumo humano y cumple con las normas de calidad de agua³.

El agua para el consumo humano debe reunir algunas condiciones de pureza para no causar problemas en la salud del hombre y de los animales, y de la misma forma, no afecte el medio ambiente y la calidad de vida en general³.

- **Fuentes de abastecimiento de agua disponible.**

En la naturaleza se encuentran diferentes fuentes de agua, tales como; el agua lluvia, aguas superficiales y aguas subterráneas, pero para este proyecto se busca una alternativa técnico-económica factible, por tal motivo se tienen en cuenta solo las siguientes:

Agua de lluvia: estas aguas no constituyen fuente de abastecimiento constante, se recomienda recolectarlas en los techos de las viviendas y conducir las por medio de canaletas a tanques de almacenamiento⁴.

³ MYNOR, ROMERO, op.cit Pág. 2 03/24/09

⁴ KJOHNSON. guía de diseño para captación del agua de lluvia.2002,Pag3, [<http://www.aguasinfronterass.org>] 04/01/09

Como medida de precaución, las primeras aguas lluvias deben ser eliminadas ya que han lavado la atmósfera y los techos de las casas, arrastrando polvo, tierra excrementos de pájaros y otras impurezas que no las hacen seguras para el consumo humano.

Aguas superficiales: Están sujetas a contaminación por parte del hombre y sus actividades diarias, dichas aguas se deben proteger para evitar que sean un medio de transporte de agentes causantes de enfermedades. Para su utilización es necesario tratarlas⁵.

2.1.2 Planta de potabilización de agua. Se denomina estación de tratamiento de agua potable o planta de potabilización de agua (frecuentemente abreviado como ETAP) al conjunto de estructuras en las que se trata el agua de manera que se vuelva apta para el consumo humano.

Existen diferentes tecnologías para potabilizar el agua, pero todas deben cumplir los mismos principios:

- Combinación de barreras múltiples (diferentes etapas del proceso de potabilización) para alcanzar bajas condiciones de riesgo,
- Tratamiento integrado para producir el efecto esperado,
- Tratamiento por objetivo (cada etapa del tratamiento tiene una meta específica relacionada con algún tipo de contaminante).

Tipos de plantas de potabilización del agua.

- ETAP de tecnología convencional: incluye los procesos de coagulación, floculación, sedimentación y filtración.
- ETAP de filtración directa: incluye los procesos de coagulación-decantación y filtración rápida, y se puede incluir el proceso de floculación.

⁵ GONZALO. AGUAS SUPERFICIALES.2005,Pag3,[<http://www.galeon.com/geologiayastronomia/geo17.pdf>] 03/25/09

- ETAP de filtración en múltiples etapas (FIME): incluye los procesos de filtración gruesa dinámica, filtración gruesa ascendente y filtración lenta en arena.

También puede utilizarse una combinación de tecnologías, y en cada una de las tecnologías nombradas es posible contar con otros procesos que pueden ser necesarios específicamente para remover determinada contaminación.

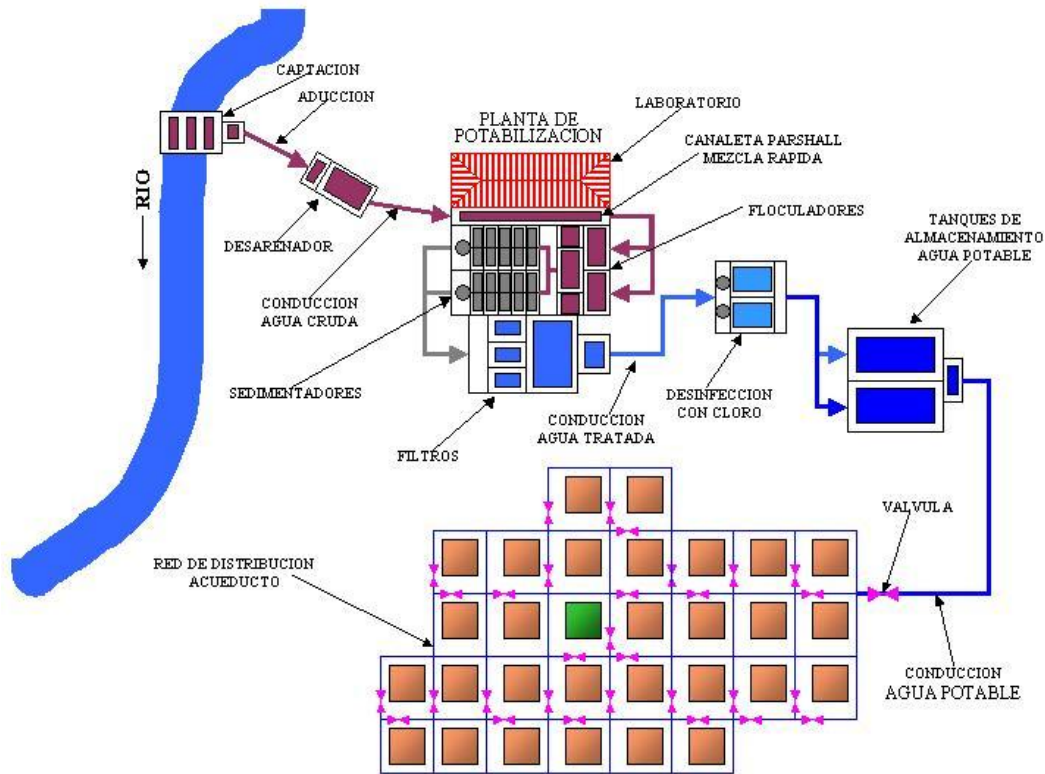
En el desarrollo del proyecto, dada la infraestructura existente, se utiliza la tecnología convencional.

Etapas de tratamiento en el proceso de potabilización para una ETAP de tecnología Convencional.

Para garantizar el adecuado tratamiento en el proceso de potabilización del agua, según el RAS, es indispensable que la ETAP cuente con las siguientes infraestructuras o etapas que permitan que el agua cruda luego de finalizar su circulación por estas, sea un agua de muy buena calidad y apta para el consumo humano; las etapas a las cuales debe someterse el agua, se observan en la **figura 1**, y son las siguientes:

- **Aducción y Conducción.** De acuerdo a lo establecido por el RAS, Aducción es aquel componente por el cual se transporta agua cruda, ya sea a flujo libre o a presión y Conducción es el componente a través del cual se transporta agua tratada.
- **Canaleta Parshall – Mezcla Rápida** .Conducto descubierto utilizado para la agitación violenta de los químicos que se dosifican a una masa de agua para producir su dispersión instantánea y homogénea en el agua de una manera bastante rápida.
- **Tanque Desarenador.** Tanque destinado a la remoción de las arenas y sólidos que están en suspensión en el agua, mediante un proceso de decantación.

Figura 1. ETAP de Tecnología Convencional.



Fuente: www.acuavalle.gov.co

- **Tanque de Floculación.** En este tanque con la adición de floculantes se logra que las partículas en suspensión se aglomeren en microfloculos y después en floculos más grandes que tienden a depositarse en el fondo del tanque construido con unas características especiales para este fin.
- **Tanque de Sedimentación.** En esta etapa, se separa el material sólido suspendido de la corriente de agua en virtud de la acción de la gravedad que obliga la caída de partículas hacia el fondo del tanque construido especialmente para tal fin.
- **Tanque de Filtración.** En esta etapa el agua sedimentada se hace pasar por encima de un medio filtrante o material poroso, que puede ser arena o arena con carbón activo. Por gravedad el agua pasa a través de la arena la cual

retiene las impurezas o turbiedad residual que queda en la etapa de sedimentación.

- **Tanque de Desinfección con Cloro.** En esta etapa se le aplica cloro, o compuestos de cloro como el hipoclorito de calcio, al agua residual para desinfección final; en algunos casos se emplea para oxidación química o control de olores, siendo este el último proceso de tratamiento para la efectiva potabilización del agua.
- **Tanque de Almacenamiento.** En este depósito se mantiene el agua potable para su posterior distribución a la red secundaria que la lleva directamente a los predios.

2.2 AUTOMATIZACIÓN DE ESTACIONES DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE.

Para comprender como se automatiza una planta de tratamiento de agua se debe entender que el proceso de potabilización del agua puede hacerse desde un vaso con agua hasta millones de litros de agua, para esto existen diferentes métodos, los cuales son buenos y varían para grandes escalas (grandes plantas) o para pequeñas escalas (pequeñas plantas), entendiendo como planta de tratamiento el lugar donde se potabilizan grandes cantidades de agua para el consumo de una población de cientos o miles de habitantes. Para la automatización de estas plantas de tratamiento se debe plantear una solución que se adapte a las necesidades de cada planta.

Los sistemas automáticos para plantas de tratamiento de agua van desde sistemas computacionales complejos con miles de sensores que no solo miden el estado del agua sino que también miden el estado de la red de distribución, hasta simples sistemas con controladores básicos que controlan pocas variables de la planta. Para automatizar una planta de tratamiento de agua se deben tener en cuenta las necesidades, el tipo de método empleado y la calidad del agua requerida. Los aspectos fundamentales a controlar en un proceso de estos son:

Cantidad de agua a tratar, nivel de turbidez, cantidad de dosificación de productos químicos, nivel de pH del agua, nivel de hierro, nivel de manganeso, tipo y cantidad de bacterias, nivel de oxígeno y otros elementos.

Por consiguiente, existe una gama de sensores que miden todas estas variables; los controladores de estos sistemas, ya sea PLC, controladores análogos o controladores digitales, reciben los valores provenientes de los sensores, realizan cálculos y toman decisiones para controlar el proceso⁶.

Existen varias empresas dedicadas a modelar y administrar redes de distribución, plantas de tratamiento de agua, etc. están:

- Bentley: desarrolladora de software para plantas de tratamiento de agua.
- Hydromatics: diseño y modelamiento de procesos relacionados con el tratamiento de agua.
- Magnetrol: distribuidora a nivel mundial de sensores de alta calidad y tecnología.

2.2.1 Antecedentes de automatización de ETAP's. Los antecedentes que se consideraron más compatibles para el desarrollo de este trabajo, fueron:

UNIAGUAS S.A. - E.S.P. Concesionaria Acueducto Regional Cereté, San Carlos, Ciénaga de Oro, Sahagún. Ampliación y Optimización de la Planta de Potabilización del Acueducto Regional Cereté, San Carlos, Ciénaga de Oro, Sahagún, en el Departamento de Córdoba. El proyecto comprendió el diseño hidráulico y estructural para la optimización de la Planta de 250 L/s a 750 L/s y se trabajó en los siguientes aspectos:

- Mezcla rápida y medición mediante vertedero rectangular
- Floculación hidráulica Tipo Alabama-Helicoidal con sistema de auto-lavado.
- Sedimentación de alta tasa con placas de asbesto-cemento y sistema de auto-lavado.
- Sistema de evacuación de lodos con múltiple extractor Ø 8".
- Filtración rápida con sistema de auto-lavado.
- Lavado auxiliar de los filtros con aire a presión.

⁶ PALAU, Margarita NUEVA NORMATIVA SOBRE AGUA DE CONSUMO.2006.pag8.

PROYECTO DE GESTION DEL AGUA POTABLE. Organizado por el programa gestión integral del agua de la corporación autónoma regional de Risaralda CARDER en el año 2005. Incorporó avances tecnológicos para monitoreo y control en cuencas hidrográficas y plantas de tratamientos de aguas en los municipios del departamento.

AGUAS DE BUGA. Planta de tratamiento, proyecto de automatización con PLCs phonetics de la planta La Cristalina, para el suministro de agua potable de Guadalajara Buga⁷.

2.2.2 Elementos tecnológicos para la automatización de procesos. Los principales elementos tecnológicos que hacen parte de la automatización de procesos, sean estos a nivel del hogar, empresarial o industrial; son los siguientes:

- **Sistema de control.** Un sistema de control puede ser definido como el medio a través del cual una cantidad o variable cualquiera en un proceso es mantenida a alterada de acuerdo con un patrón de comportamiento deseado.

Elementos de un sistema de control. Un sistema de control generalmente está compuesto por los siguientes elementos básicos:

- **Señal de entrada.** Señal generada por un instrumento de medición o sensor al realizar una medición; y puede ser mecánica, neumática, electrónica, etc., que se lleva como entrada a un controlador.
- **Controlador o actuador.** Equipo o elemento que recibe la señal de entrada y de acuerdo a las instrucciones previamente almacenadas, procesa la señal y genera una señal de control o salida de igual o diferente naturaleza de la señal de entrada, que a través de un elemento final de control que puede ser una válvula, un motor, etc., mantiene o altera una variable de un proceso en unas condiciones deseadas.

⁷ JIMENEZ, JULIAN. Aguas de Buga.2002.BUGA. pag2. [<http://www.aguasdebuga.com.co>] 04/01/09

Este elemento puede ser un controlador análogo o digital, una tarjeta de adquisición, un PLC entre otros. Para este proyecto se determino el PLC como elemento controlador, ya que este es el más adecuado para ambientes industriales.

PLC. Es un equipo electrónico, programable en lenguaje no informático, diseñado para controlar en tiempo real y en ambiente de tipo industrial, procesos secuenciales. Un PLC trabaja en base a la información recibida de los sensores y el programa lógico interno, actuando sobre los accionadores de la instalación; se da en procesos tales como: procesos de producción, procesos secuenciales, Instalaciones de procesos complejos y amplios, etc.

Tiene como ventajas:

1. Menor tiempo empleado en la elaboración de proyectos
 2. Menor coste de mano de obra de la instalación
 3. Menor tiempo para la puesta en funcionamiento del proceso al quedar reducido el tiempo de cableado⁸.
- **Planta.** Es el proceso que se automatiza, y es la que involucra las variables del proceso a controlar; el proceso puede ser el llenado de un tanque, donde pueden tenerse como variables el flujo de entrada, el nivel del tanque, etc.
 - **Señal de salida.** Es la señal generada por el elemento controlador que se lleva a un elemento final de control, para que realice la acción más adecuada de acuerdo con parámetros deseados, almacenados en el software del equipo.
 - **Medición o realimentación.** Es el medio de enlace entre el proceso y los circuitos de control. Es un sensor o instrumento de medición que al realizar una medición a una variable genera una salida de igual naturaleza o de otro tipo a través de un elemento transductor.

⁸García, Antonio .PLC.2005.Pág. 1-3. [<http://www.uv.es/montanan/redes/trabajos/PLC.pdf>] 04/02/09

2.3 ASPECTOS LEGALES A TENER EN CUENTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO.

Los aspectos legales que deben conocerse son las leyes, decretos, reglamentos y normas técnicas relacionadas con la conceptualización, diseño, construcción, mantenimiento, supervisión técnica y operación de un sistema de acueducto o cada uno de sus componentes en particular; por ello en el presente proyecto, se tomaron en cuentas las siguiente acciones legales:

Resolución 1096 del 17 de noviembre de 2.000 por la cual se adopta el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico (RAS); en el cual se sugiere los aspectos técnicos que deben acatarse en la planeación, el diseño, ejecución y supervisión de un proyecto, en cada uno de los dos sectores anteriormente mencionados.

Ley 152 por la cual se establece la ley orgánica del plan de desarrollo, la cual tiene como propósito establecer los procedimientos y mecanismos para la elaboración, aprobación, ejecución, seguimiento, evaluación y control de los planes de desarrollo.

Ley 80 que tiene por objeto disponer las reglas y principios que rigen los contratos de las entidades estatales.

2.4 DIAGNÓSTICO ACTUAL DE LA ETAP DEL ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE LLORÓ.

En los meses de Abril y Julio del presente año a la ETAP del acueducto del municipio de Lloró, se le realizo un estudio general de sus condiciones actuales, y basados en estos, se realizo un análisis detallado, arrojándose los siguientes resultados:

2.4.1 Ubicación geográfica del municipio de Lloró. El diseño del modelo de automatización se realiza en la región pacifica de Colombia, específicamente en el departamento del Chocó, en el municipio de Lloró. El municipio de Lloró está situado en la zona Occidental del departamento del Choco parte alta del río Atrato a 12 Km. del Municipio del Atrato, los asentamientos de sus pobladores se

distribuyen a lo largo de cuatro ríos las cuales son el Atrato, Andaguada, Capa y Tumutumbudo; su cabecera municipal se encuentra en medio de dos ríos, en forma de semi-isla, el río Atrato y el Andaguada.

El municipio de Lloró limita al oeste con el municipio del Atrato, al este con el municipio del Carmen de Atrato, al norte con el Municipio de Bagado y al sur con el municipio de Certegui.

2.4.2 Funcionamiento Actual de la ETAP del Acueducto del Municipio de Lloró. En el municipio de Lloró, el servicio de acueducto se presta parcialmente al 99,6%, del casco urbano del municipio y esta segmentado en dos partes, una corresponde a la parte alta y la otra a la parte baja de pueblo. Actualmente la ETAP está compuesta por dos tanques de concreto de una capacidad promedio de 140 m³ y una caseta de tratamiento, la cual en su interior cuenta con dos bombas, un tanque plástico de 250 Lts para el almacenamiento de cloro y un dosificador de cloro; como se puede observar en la **figura 2**. Las instalaciones eléctricas son alimentadas por un transformador con una capacidad de 30 KVA.

Figura 2. ETAP del acueducto del municipio de Lloró en la actualidad.



Fuente: Calculos de autor.

En la **figura 2**, la imagen superior izquierda corresponde al tanque de almacenamiento; en la imagen superior derecha se muestra la separación física del tanque de almacenamiento con la caseta de tratamiento; en la imagen inferior izquierda se observa el tanque de sedimentación y desinfección con cloro, y colindante con la caseta de tratamiento; y en la imagen inferior derecha se observa el interior de la caseta de tratamiento, en la cual se encuentran los equipos.

El proceso de tratamiento del agua que tiene lugar en la ETAP, empieza con la etapa de captación del agua de la quebrada Chado que se encuentra ubicada en una zona alta y montañosa, luego sigue la etapa de aducción del agua a través de una tubería metálica de 6" de diámetro, la cual fluye por gravedad hasta la ETAP.

No hay ningún tipo de desarenador entre la bocatoma y el punto de llegada del agua a la ETAP. Después de un recorrido de aproximadamente 1000 m, el agua cruda llega a un punto en los linderos de la ETAP en donde encuentra dos derivaciones, cada una con una válvula manual. Con una de las válvulas se controla manualmente el paso directo del agua hacia la red de distribución de la parte baja del pueblo, sin ningún tipo de tratamiento y, con la otra, se controla el flujo del agua hacia un tanque de sedimentación y desinfección (TSDA). Cuando el tanque está completamente lleno se le adiciona cloro sin tener en cuenta una medida que permita garantizar una adecuada desinfección del agua.

Además de la entrada de agua, este tanque tiene 3 salidas, cada una de ellas con su respectiva válvula manual, una de ellas es la salida de desagüe utilizada para extracción de lodos y mantenimiento, otra es para la conexión o conducción del agua a la red de distribución de la parte baja del pueblo y la última permite la conducción del agua hacia otro tanque (TDAT) ubicado a una altura de 6 m con respecto al nivel del primer tanque y a una distancia aproximada de 100 m, este tanque se utiliza para el almacenamiento y posterior suministro del agua a la red de distribución de la parte alta del pueblo.

Para llevar el agua al tanque se utilizan dos bombas situadas en la caseta de tratamiento construida junto al tanque de captación. No se realiza floculación aunque existe un tanque en malas condiciones en el cual se realizaba este proceso. No se cuenta tampoco con un sistema de filtrado para el agua.

En el **plano 1** se observa el levantamiento del plano de la ETAP actual del acueducto del municipio de Lloró. Ver **plano 1**.

2.4.3 Prestación del servicio de agua potable en el acueducto del municipio.

Actualmente la parte alta del pueblo se abastece de agua solamente una o dos veces al día, con una duración promedio de una hora cada vez; es decir, a las 6 A.M se envía el agua a esta zona y aproximadamente a las 7 A.M., se suspende el suministro y algunas veces, se envía nuevamente a las 5 P.M. y se suspende a las 6.P.M.

A la zona baja del pueblo se le suministra el agua casi todo el día, ya que a las 6 A.M. se le envía el agua y a la 1 P.M. se suspende el suministro y posteriormente, a las 4 P.M. se envía nuevamente y se suspende a las 7 P.M.

La planta de tratamiento no dispone de un laboratorio de control equipado para realizar los análisis básicos que permitan controlar las características físicas y químicas del agua en las diferentes etapas del proceso y posee deficiencias de instalaciones locativas y civiles que permitan montar e instalar adecuadamente los equipos para llevar a cabo el control de calidad de proceso.

El caudal de operación de esta planta no es fijo, y por el contrario varía mucho, debido a que en el diseño de la bocatoma no se tuvieron en cuenta los caudales mínimo y máximo de la fuente de captación del agua, de acuerdo con las condiciones climáticas del año. El caudal de operación promedio de esta es de 9 Lts/s.

La población del municipio es de aproximadamente 2750 habitantes y si se considera que el consumo promedio de agua para este tipo de zonas es de 140lt/día, el caudal de salida de agua potabilizada debería ser como mínimo de 4.45 lt/s para abastecer durante todo el día a la totalidad de la población. Para efectos de proyección, al momento de presentar el proyecto se considera que el caudal máximo de agua a tratar será de 9 Lts/s.

2.5 SOLUCIÓN PROPUESTA PARA LA INFRAESTRUCTURA DE LA ETAP DE LLORÓ.

Para lograr una potabilización adecuada del agua y garantizar el suministro de la misma durante las 24 horas del día, es necesaria la construcción de obras civiles

como un desarenador, un tanque de mezcla rápida, un tanque floculador, filtros y realizar una serie de ajustes y adiciones al sistema que permitan la potabilización del agua en forma automática y con el cumplimiento de los estándares propuestos en el RAS.

DESARENADOR

Se debe construir en un sitio lo más cercano y apropiado posible a la bocatoma con el fin de retener las partículas más pesadas, y evitar la posibilidad de obstrucción de la línea de conducción o su deterioro por abrasión. Incluso puede, si las condiciones del sitio se presentan favorables, integrarse conjuntamente con las obras de toma.

El diseño del desarenador debe incluir los detalles para su correcta operación, tales como válvulas y compuertas de entrada, "by-pass", salida, rebose, aire, drenaje y limpieza, cierre hacia la línea de conducción, etc. De especial importancia es la conducción de las aguas de rebose y de lavado hacia un sitio adecuado para su disposición.

Los diseños deben incluir adicionalmente, las obras previas y las complementarias, tales como: estructuras de medición de caudal, movimiento de tierras, taludes, drenajes y cunetas, conducciones de rebases y de aguas de lavado, acceso, cercas etc.

SISTEMA DE MEZCLA RAPIDA

Se denomina mezcla rápida a las condiciones de intensidad de agitación y tiempo de retención que debe reunir la masa de agua en el momento en que se dosifica el coagulante, con la finalidad de que las reacciones de coagulación se den en las condiciones óptimas correspondientes al mecanismo de coagulación predominante.

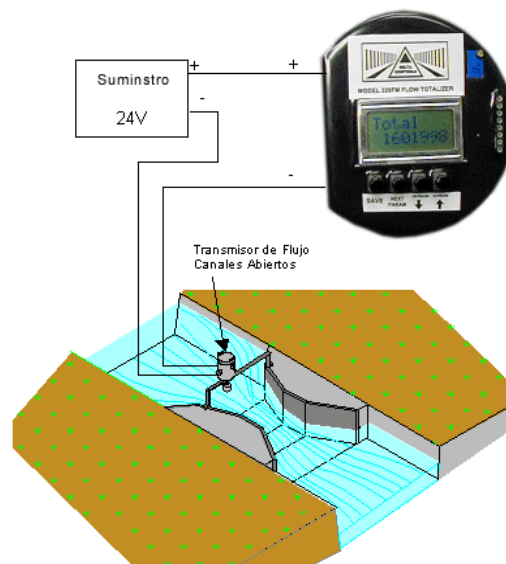
La dosificación se realiza en la unidad de mezcla rápida; por lo tanto, estas condiciones son las que idealmente debe reunir esta unidad para optimizar el proceso. Es conveniente que en el sistema de mezcla rápida ocurran condiciones de flujo de pistón, pues la existencia de corrientes de cortocircuito o la detención de masas de agua por un tiempo mayor que el necesario genera el inconveniente

de que la masa de agua reciba en ocasiones una cantidad alta de coagulante, lo que podrá causar la reestabilización de los coloides, mientras que en otras ocasiones recibirá cantidades demasiado bajas para iniciar la coagulación.

Para la planta de tratamiento del municipio de Lloró, con la doble finalidad de medir el caudal y efectuar la mezcla rápida se recomienda la construcción de un vertedero o canaleta Parshall como el que se muestra en la **figura 3**.

El vertedero Parshall es una especie de tubo venturi abierto, el cual dispone de una garganta que produce una elevación de nivel en función del caudal. Está formado por una sección de entrada de paredes verticales convergentes y fondo a nivel, una garganta o estrechamiento de paredes paralelas y fondo descendente y una sección de salida con paredes divergentes y fondo ascendente. Las Canaletas Parshall se definen por el ancho de la garganta. Para la determinación del caudal se precisa de la medición de la altura del líquido, esta se puede realizar de forma instantánea con sólo una medición de altura.

Figura 3. Vertedero o canaleta Parshall.



Fuente: <http://www.remosa.net>

FLOCULADOR

El objetivo del floculador es proporcionar a la masa de agua coagulada una agitación lenta aplicando velocidades decrecientes, para promover el crecimiento de los flóculos y su conservación, hasta que la suspensión de agua y flóculos

salga de la unidad. Se recomienda un floculador hidráulico del tipo de pantallas de flujo horizontal con tiempo de retención estimado en 20 min, dadas las características físico-químicas del agua a tratar.

Las unidades de pantallas son las más eficientes y económicas entre los diferentes tipos de floculadores. Debido a la gran cantidad de compartimientos que tienen, confinan casi perfectamente el tiempo de retención; el tiempo real es prácticamente igual al tiempo teórico cuando la unidad ha sido bien proyectada. Como no se requiere energía eléctrica para su funcionamiento, el costo de producción es muy bajo.

Para la infraestructura de la ETAP del acueducto del municipio de Lloró, se propone el diseño mostrado en el **plano 2**, ajustado a las normas técnicas y al RAS, adaptas para esta infraestructura específica. Ver **plano 2**.

2.6 CAPACIDAD DE DISEÑO DE LA ETAP DEL ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE LLORÓ.

La planta está diseñada para tratar hasta 9 litros por segundo de agua cruda, equivalentes a 142,65 galones por minuto ó 32,4 mts³/hr. Los siguientes son los aspectos que se deben de tener en cuenta para la determinación de los equipos de instrumentación y la elaboración del diseño:

2.6.1 Calidad del agua a tratar. El agua a tratar es agua superficial captada de la quebrada Chado que desemboca en el rio Andagueda, en cuanto a su calidad se presentan dificultades principalmente con parámetros como la turbidez, sólidos en suspensión y población microbiológica como bacterias mesófilas y coliformes totales que sobrepasa los valores máximos permitidos por las normas del Ministerio de Salud para calidad grado “agua potable”.

2.6.2 Características y ventajas del diseño. Algunas de las ventajas que ofrece el diseño son:

- El agua cruda será sometida a todos los procesos de potabilización como son: Coagulación, Floculación, Sedimentación y Desinfección.
- Se propone un sistema de dosificación de químicos completamente automático de tal forma que cuando entre agua cruda a la planta se inicie automáticamente la dosificación de los químicos y cuando se suspenda la entrada de agua se deje de dosificar los químicos.
- El sistema de dosificación de químicos está formado por tres bombas dosificadoras de químicos electrónicas de tipo diafragma.

2.6.3 Parámetros que determinan la calidad del agua. Los principales parámetros con los que se determina la calidad del agua para el consumo humano, son los siguientes:

Cloro residual. La acción desinfectante del cloro se debe a su alto poder oxidante en la estructura química celular de las bacterias, que destruye los procesos bioquímicos propios de su desarrollo. La característica principal del cloro para su uso como desinfectante es su presencia continua en el agua como cloro

residual. La normativa sanitaria determina que el agua para consumo humano debe tener una concentración mínima de cloro residual libre o combinado o de algún otro agente desinfectante.

Además de desinfectar, el cloro también reacciona con otros elementos presentes en el agua, como amoníaco, hierro, manganeso y otras sustancias productoras de olores y sabores, mejorando la calidad del agua. Al adicionar cloro es necesario tener en cuenta que una concentración excesiva de este producto en el agua le da un sabor desagradable.

pH. El pH es un factor muy importante, porque determinados procesos químicos solamente pueden tener lugar a un determinado pH. Por ejemplo, las reacciones del cloro solo tienen lugar cuando el pH tiene un valor de entre 6,5 y 8. El pH ideal para el agua potable debe ser 7.

El pH puede variar entre 0 y 14. Cuando el pH de una sustancia es mayor de 7, es una sustancia básica. Cuando el pH de una sustancia está por debajo de 7, es una sustancia ácida. Cuanto más se aleje el pH por encima o por debajo de 7, más básica o ácida será la solución. El término común para referirse al pH es la alcalinidad.

Turbidez. La turbidez es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión. Cuantos más sólidos en suspensión estén presentes en el agua, más sucia parecerá ésta y más alta será la turbidez. La turbidez es considerada como una buena medida de la calidad del agua.

Se mide en NTU (Unidades Nefelométricas de Turbidez). El instrumento usado para su medida es el nefelómetro o turbidímetro, que mide la intensidad de la luz dispersada a 90 grados cuando un rayo de luz pasa a través de una muestra de agua.

Según la Organización Mundial para la Salud (OMS), la turbidez del agua para consumo humano no debe superar en ningún caso las 5 NTU, y su valor ideal debe estar por debajo de 1 NTU. En la **Tabla 9** se mencionan algunos parámetros que determinan la calidad del agua.

Continuidad. Este parámetro tiene relación con la existencia de iones disueltos en el agua. Cuanto mayor sea la concentración de iones disueltos, mayor será la conductividad eléctrica del agua.

El parámetro de conductividad eléctrica ayuda a detectar posible contaminación del agua debido a la descarga de desperdicios industriales, minería, aguas negras, etc. Mientras más alto es el contenido de minerales en el agua, más alta es la conductividad. **Ver tabla 10.**

Tabla 9. Parámetros organolépticos determinantes en la calidad del agua.

Parámetro	Unidad	Valor Recomendado	Valor Máximo Admisible
Color	UCV (a)	-	15
Turbiedad	NUT	1	5
Olor Factor	Dilución	0	Debe ser aceptable
Sabor	Factor dilución	0	Debe ser aceptable

(a) UCV, Unidad de Color Verdadero

Fuente: Reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico.

Tabla 10. Algunos parámetros físico-químicos determinantes en la calidad del agua.

Parámetro	Unidad	Valor Recomendado	Valor Máximo Admisible
Cloro residual	mg/l	0.2-0.5 (a)	5 (b)
Cloruros	mg/l	25	250
Conductividad	μS/cm	400	-
Sulfatos	mg/l	25	250
Sodio	mg/l	-	200
Hierro	mg/l	-	0.3
Aluminio	mg/l	-	1
Cobre	mg/l	-	1

(a) Cloro residual libre.

(b) 5 mg/l con base en evidencia científica las cuales han demostrado que este valor no afecta la salud.

Fuente: Reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico.

2.6.3 Químicos que deben adicionarse al agua para su potabilización. El sistema de dosificación considera la adición de tres productos: hipoclorito de calcio, sulfato de aluminio y carbonato de sodio.

Dosificación de Hipoclorito de Calcio: El cloro es uno de los desinfectantes más efectivos conocidos y es usado universalmente para la desinfección de los suministros públicos. La adición de cloro permite desinfectar el agua ya que los compuestos que lo contienen poseen gran poder destructivo sobre los microorganismos presentes en el agua, causantes de enfermedades.

El cloro es un elemento muy corrosivo y por lo tanto se debe tener precaución en su manejo; adicionalmente los equipos empleados deben ser de materiales resistentes a la corrosión. El cloro se encuentra en tres estados físicos: gaseoso, líquido o sólido. El equipo requerido para la dosificación del cloro depende del estado en que éste se vaya a dosificar.

- **Cloro gaseoso en solución acuosa.** En este caso, el cloro viene en cilindros y para pasarlo a una solución acuosa se requiere de agua a presión. Este sistema es utilizado en plantas de potabilización convencionales para acueductos de gran tamaño.

- **Aplicación directa del cloro gaseoso.** Este sistema de aplicación del cloro gaseoso se utiliza en plantas de potabilización relativamente pequeñas, pero se requiere una cierta infraestructura y adiestramiento de los operarios.

- **Aplicación del cloro sólido o líquido.** En plantas de potabilización pequeñas resulta más económico y de fácil manejo el empleo del cloro en cualquiera de estos dos estados. Los productos más utilizados son:
 - **Hipoclorito de calcio:** El más utilizado viene en forma granular, polvo o tabletas. Su aplicación puede ser directa o mediante la preparación previa de una solución acuosa.

 - **Hipoclorito de sodio:** Este hipoclorito viene en forma líquida en diferentes concentraciones.

En la planta de potabilización del Municipio de Lloró se utiliza el hipoclorito de calcio en forma líquida y se dosificará mediante el empleo de una bomba dosificadora de diafragma de desplazamiento positivo, con elementos resistentes a la corrosión del cloro. Para la dosificación del hipoclorito, es necesario hacer una dilución de la concentración inicial de cloro de 0.5 a 1.0 por ciento en peso.

- ✓ **Determinación de la capacidad del clorador.** La demanda de cloro se define como la diferencia entre la cantidad de cloro aplicada al agua y la cantidad de cloro libre residual, combinado residual o total resultante al final de un período específico de contacto.

La cantidad exacta de cloro a dosificar en una aplicación dada depende de varios factores para obtener los resultados deseados, entre otros están: la demanda de cloro en el agua, la cantidad y tipo de cloro residual requerido; el tiempo de contacto del cloro en el agua, la temperatura del agua, el volumen del flujo a tratar, y la normatividad impuesta al respecto por las autoridades de salud pública.

La concentración óptima se encuentra en el rango 0.2 y 0.5 mg/l de cloro residual.

- ✓ **Solución de Hipoclorito de calcio:** Para preparar la solución de hipoclorito se define inicialmente la concentración final (C_f) a ser empleada por el equipo dosificador y se aplica la ecuación 1.0 para obtener el volumen del agua de disolución (V_f) en litros que será agregada a la masa de hipoclorito de calcio sólido:

$$V_f = \frac{C_o * W_o}{C_f} \quad 1.0$$

En donde:

C_o = Porcentaje en peso de cloro activo

W_o = Peso del sólido de hipoclorito de calcio (Kg)

C_f = Concentración de cloro activo deseado en la solución (g/l)

Para determinar la cantidad de solución de hipoclorito que debe suministrar la bomba dosificadora se emplea la ecuación 1.1. Es importante disponer de dos tanques de disolución de dimensiones adecuadas que permitan un abastecimiento continuo de solución de cloro al dosificador.

$$M = \frac{D * Q}{C_f} \quad 1.1$$

En donde:

M =Cantidad de cloro a dosificar (l/hr).

D =Concentración de cloro en el agua tratada (mg/l).

Q =Caudal de agua a tratar (l/hr).

C_f =Concentración de la solución (mg/l).

Dosificación de Sulfato de aluminio: El sulfato de aluminio es una sal de fórmula $Al_2(SO_4)_3$, es sólido y blanco. Es ampliamente usado en la industria, como floculante en la purificación de agua potable y en la industria del papel. El sulfato de aluminio permite clarificar el agua potable ya que es un coagulante y por ello sedimenta los sólidos en suspensión, los cuales por su tamaño requerirían un tiempo muy largo para sedimentar.

Cuando el pH del agua es alto (mayor de 7), el aluminio se precipita arrastrando las partículas en suspensión, dejando el agua transparente. Al igual que el hipoclorito de calcio su dosificación depende del flujo de entrada. Su concentración óptima es de 20 mg/l. Se utiliza para la eliminación de residuos o partículas suspendidas en el agua como el hierro.

Para determinar la cantidad óptima de coagulante que debe suministrar la bomba se utiliza la "Prueba de Jarras". Para dicha prueba se realiza el siguiente procedimiento:

1. Recolectar una muestra de agua cruda en una garrafa limpia directamente de la bocatoma y llevarla al Laboratorio.
2. Determinar el pH, el color, la turbidez y la temperatura inicial del agua cruda.

3. Colocar los vasos de prueba (4, 5 o 6 en total) debajo de cada una de las paletas de agitación.
4. Verter en cada vaso exactamente 2lt de la muestra de agua cruda recolectada.
5. Anotar en la hoja de datos la cantidad de coagulante que se debe añadir en cada vaso. Esta cantidad variará de vaso a vaso en forma creciente.
6. Con cada pipeta añadir el coagulante en forma creciente en vasos sucesivos por ejemplo 20 mg/l en el primer vaso, 30 mg/l en el segundo, etc.
7. Colocar las paletas de agitación dentro de los vasos, arrancar el agitador y operarlo durante 1 min a una velocidad de 60 a 80 RPM.
8. Reducir la velocidad del agitador al grado seleccionado de agitación, 30 RPM por lo general, y permitir que la agitación continúe durante 15 min. El tiempo puede variar según las condiciones de operación de la planta.
9. Anotar el tiempo que transcurre hasta la formación del primer floc (min, seg) y su tamaño de acuerdo a la clasificación del registro.
10. Una vez que transcurre el periodo de agitación, detener el agitador y anotar cuanto tiempo transcurre hasta que el floc se sedimente en el fondo del vaso.
11. Después permitir que el floculo se asiente durante 20 min, determinar la turbidez y el color del sobrenadante (El líquido por encima de los flóculos).
12. Después de haber anotado los aspectos visuales en el registro correspondiente y haber concluido los tiempos y velocidades de agitación del proceso, simulados en esta prueba, tomar una muestra representativa y suficiente de cada una de los vasos con una pipeta, teniendo cuidado de no remover los flóculos formados. Determinar turbidez, el color y el pH final a cada una de las muestras.

13. Calcular los porcentajes de remoción de turbidez y color en base a los valores de agua cruda, mediante las siguientes fórmulas:

$$\% \text{ Remoción de Turbidez} = \frac{TI - TF}{TF} * 100 \quad 2.0$$

$$\% \text{ Remoción de Color} = \frac{CI - CF}{CI} * 100 \quad 3.0$$

Donde:

TI = Turbidez inicial (agua cruda).

TF = Turbidez final (después de la evaluación del producto).

CI = Color inicial (llegada a planta potabilizadora).

CF = Color final (punto a evaluar en el cual se va a calcular la remoción).

14. Registrar los resultados en la Bitácora de Control de Calidad de Planta de tratamiento.

15. De acuerdo con los resultados obtenidos de turbidez, color, porcentajes de remoción y aspectos visuales, se determinará la dosis óptima o más adecuada para dosificarla en el proceso de potabilización.

En la **figura 4**, se muestra el equipo que se utiliza para la prueba de jarras, conocido también como jar test, utilizado para hacer las pruebas para determinar la mezcla óptima de las sustancias químicas a dosificar al agua.

Figura 4. Equipo para prueba de jarras (Jar test).



Dosificación de Carbonato de Sodio: se usa para mantener neutro el grado de acidez en el agua (pH=7). La dosificación de este químico produce una elevación del pH para contrarrestar el efecto de disminución del mismo producido por la adición de sulfato de aluminio. La dosificación de carbonato depende del pH medido en cada instante. Si el agua es ácida (pH<7), se debe adicionar este producto, en caso contrario se suspende la dosificación.

- El caudal de dosificación de las bombas dosificadoras de químicos se ajusta manualmente, dicha condición permite dosificar los productos en forma automática.
- La planta contará con automatización de la operación de llenado que es la encargada de permitir o por el contrario interrumpir automáticamente el flujo de alimentación de agua cruda a la planta. Si el tanque de almacenamiento de agua potable con capacidad para almacenar 123,396 m³ está lleno, se suspenderá y apagará automáticamente la planta y sus equipos, evitando así el desperdicio de agua tratada y los químicos. Si el nivel del tanque de agua potable desciende, debido al consumo de agua por los usuarios, se prenderá la planta automáticamente sin la intervención de operarios.

2.7 Especificación de los equipos de instrumentación e infraestructura necesarios para el diseño del modelo de automatización para la ETAP de Lloró.

En base a la información anterior, se evidencia que la ETAP del acueducto del municipio de Lloró no cuenta con la infraestructura necesaria según el RAS; por tanto, se propone la construcción de cuatro infraestructuras, las cuales son:

Un canal de *mezcla rápida*, para la medición del flujo de agua a la entrada de la ETAP, y para la dosificación de los productos químicos; un floculador, para la decantación de sólidos suspendidos en el agua; un desarenador, para retener las partículas más pesadas, y evitar la posibilidad de obstrucción de la línea de aducción o su deterioro por abrasión y un *filtro*, para la retención final de los sólidos o partículas presentes en el agua.

Para el diseño del modelo de automatización de la ETAP del acueducto del municipio de Lloró, se determinaron los siguientes equipos de instrumentación especificados con sus respectivas especificaciones, como se muestra en la **tabla 11**:

Tabla 11. Lista de equipos necesarios para la automatización de la planta de tratamiento de agua del municipio de Lloró.

EQUIPO	CANTIDAD	CARACTERISTICAS
PLC	1	Touch Screen y HMI
Bomba dosificación de Hipoclorito de calcio	1	Para automatización por pulso, de 1-180 pulsos/min. Rango de capacidad: Graduable hasta 20 litros por hora a 2 bar
Bomba dosificación de Sulfato de aluminio	1	Para automatización por pulso, de 1-180 pulsos/min. Rango de capacidad: Graduable hasta 20 litros por hora a 2 bar
Bomba dosificación de Carbonato de sodio	1	Para automatización por pulso, de 1-180 pulsos/min. Rango de capacidad: Graduable hasta 20 litros por hora a 2 bar
Equipo para Prueba de jarras	1	
pH-metro	1	Salida de 4-20 mA
Turbidímetro	1	(0-4000 NTU), color (0-500 cu)
Transmisor de nivel	1	Ultrasónico para intemperie
Transmisor de flujo	1	Placa orificio integrada
Medidor de concentración de Cl	1	cloro (0-20 ppm),
Computador	1	Escritorio
Sw nivel	5	2 Electrodos
Indicador visual	6	Lámparas
Software	1	SCADA
Borneras	74	Varios tipos
Acometidas	1	En general
Cableado	700	Varios calibres
Anaqueles	1	120 cm x 80 cm
Accionamiento de control para bombas	1	Controlado por switch
Cable U	3	Cable de control universal 5m para conectar los dosificadores.

Fuente: cálculos de los autores.

3. ESTABLECIMIENTO DEL GRADO DE AUTOMATIZACION

La planta de tratamiento de agua del acueducto de Lloró requiere de la automatización de aquellos procesos que se están realizando actualmente en forma manual y que traen como consecuencia que el proceso de potabilización no sea el más adecuado. Estos procesos son: la medición del caudal de agua que entra a la planta, la medición de la turbidez, la dosificación de químicos que deben ser agregados al agua, la medición del nivel del tanque de almacenamiento.

3.1 CONSIDERACIONES PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL GRADO DE AUTOMATIZACIÓN PARA LA ETAP DEL ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE LLORÓ.

El grado de automatización está ligado directamente al presupuesto que asigne el municipio para la automatización del sistema de potabilización, a las necesidades del proceso y a la practicidad de los objetivos en el diseño. Con lo anterior se quiere decir que se eliminan las ideas que conciban un sistema de automatización que se salga del presupuesto, las que no cumplan con las necesidades del proceso y las que carezcan de un objetivo práctico para el proceso.

Analizando las necesidades de la ETAP del acueducto del municipio de Lloró se llegó a considerar qué los procesos que requieren de automatización son:

3.1.1 Medición de flujo de entrada y dosificación de químicos. El propósito práctico de la medición del flujo es estimar la cantidad de químicos que deben ser agregados al agua. La cantidad de químicos que deben ser agregados es proporcional al flujo de agua que entra a la planta. El flujo debe ser medido en canal abierto utilizando un vertedero y el sensor adecuado que envíe una señal con la información de la medida hacia un circuito electrónico, el cual, con base en esta medición calcula la cantidad de químicos a agregar. Para controlar la cantidad de aditamentos del agua es necesario disponer de válvulas de control que se puedan regular electrónicamente y que sean resistentes a la corrosión.

3.1.2 Medición de la turbidez. Esta medida se hace con el propósito de saber que tan turbia esta el agua, así, se tiene conocimiento del momento apropiado para cerrar la entrada del agua, garantizando que la planta tenga el agua en un nivel de turbidez aceptable y lo pueda procesar, de lo contrario el agua quedaría sucia. Esta parte es de vital importancia y no puede ser omitida se debe instalar un medidor de turbidez en el vertedero, ya que por medio de la medición obtenida es posible controlar la entrada de agua con una válvula automática.

3.1.3 Nivel del tanque de almacenamiento. Conocer el nivel del tanque de almacenamiento es importante, debido a que, permite saber la cantidad de agua de la cual se dispone para la distribución; teniendo conocimiento del nivel se puede evitar un desborde de agua del tanque por exceso. Para lograr esto se requiere un sensor de nivel, cuya señal permita controlar el flujo de entrada moviendo la válvula que se encuentra a la entrada de la planta.

3.1.4 Floculación. Este proceso es uno de los pasos más importantes para la adecuada potabilización del agua; ya que, con la adición de sustancias denominadas floculantes, las partículas coloidales presentes en el agua se aglutinan formando flóculos, facilitando de esta forma su decantación y posterior filtrado.

3.1.5 Control lógico. Para poder controlar los procesos utilizando las señales que envían los diferentes sensores, es recomendable que estas señales sean eléctricas, ya que, la planta cuenta con un transformador eléctrico con la capacidad necesaria para mantener equipos eléctricos en funcionamiento. Lo anterior permite utilizar un sistema computacional que calcule, administre y controle el funcionamiento de la planta. Para ello se utiliza una computadora y un sistema de control industrial basado en PLC, con el cual, se controlan todas las variables y se calcula y registra todo el proceso.

3.1.6 Otras consideraciones. Es importante para el proceso indicar el nivel de los tanques que contiene los químicos que se agregan al agua, esto permite tener mayor control del proceso, aunque, la preparación de los químicos deba ser automática, es importante conocer el estado de estos porque son parte importante

del proceso. Para esto se utilizaran sensores de nivel, los cuales, solo indican el nivel del tanque y no afectan el funcionamiento de la planta.

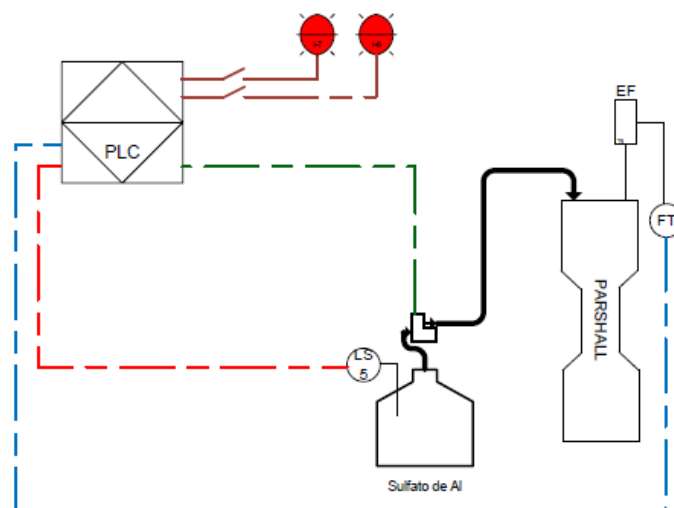
Teniendo en cuenta las anteriores consideraciones el grado de automatización para la planta de tratamiento de agua del acueducto de Lloro es: Medición de turbidez a la entrada de la planta, medición de flujo de entrada, control automático de la dosificación de cloro basado en el flujo de entrada, parte de floculación e indicación de nivel de los tanques para el almacenamiento de los químicos a dosificar, así como los niveles de los tanques de sedimentación y distribución.

3.2 Diseño del modelo de automatización para cada uno de los procesos propuestos para la ETAP del acueducto del municipio de Lloró.

A continuación se muestra el diagrama de instrumentación de cada uno de los procesos en las diferentes etapas de la ETAP propuesta para el acueducto del municipio de Lloró, conforme a sus necesidades y al presupuesto disponible por parte del municipio.

3.2.1 Modelo de automatización para medición del flujo a la entrada y la dosificación del sulfato de aluminio. La figura 5 representa el diagrama de instrumentación para la dosificación del sulfato de aluminio, y su proceso se describe seguidamente.

Figura 5. Diagrama de instrumentación para la dosificación del sulfato de Al.

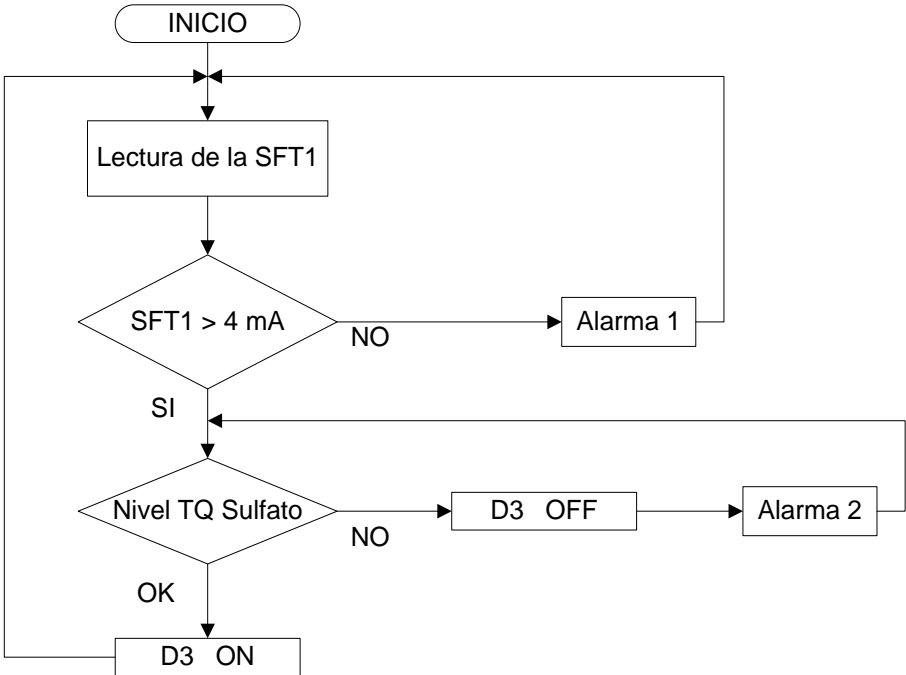


Fuente: calculo de los autores.

La dosificación del sulfato de aluminio depende del flujo a la entrada de la ETAP, el cual se mide con un medidor de nivel ultrasónico (EF1) que entrega una señal análoga de 4 a 20 mA de acuerdo a la lectura que realice del flujo de entrada, que se convierte y se transmite instantáneamente a través del transmisor de nivel (FT1) hasta el PLC; que con los parámetros almacenados de la concentración de sulfato de Al optima a dosificar de acuerdo a los resultados de la prueba de jarras, genera una señal análoga que internamente por software se convierte de 4 a 20 mA por un equivalente de 1 a 100 pulsos/min.

Esta última señal controla el accionamiento de la bomba dosificadora de sulfato de Al, que de acuerdo a esta dosifica una cantidad de aluminio expresada en mg/L., en pulsos que pueden variar de 1 a 100 pulsos/min; manteniendo la turbidez en un nivel deseado para garantizar una buena reacción química en el agua, provocando que los sólidos en suspensión se agrupen y se decante posteriormente en pequeños flóculos. En la **figura 6** se muestra el diagrama de flujo del proceso automatizado.

Figura 6. Diagrama de flujo para la dosificación del sulfato de aluminio.



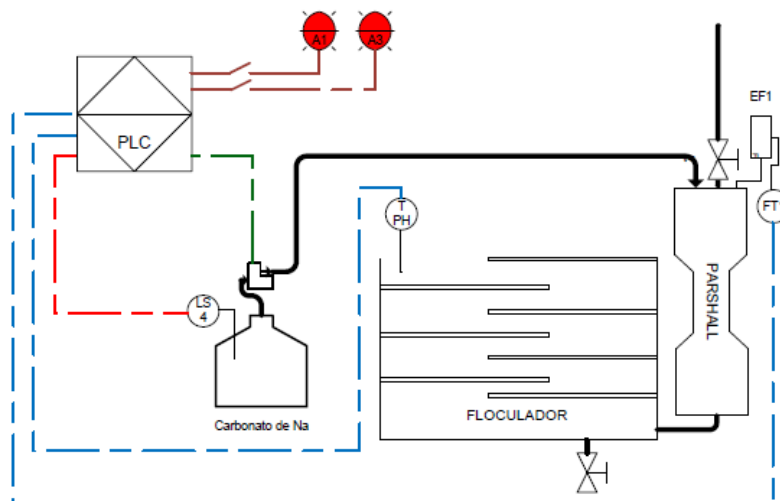
Fuente: calculo de los autores.

El proceso de dosificación de sulfato de aluminio empieza con la lectura del flujo de entrada, la cual se realiza con el medidor de nivel uno (FT1), si la señal del transmisor de nivel uno (SFT1) es mayor a 4 mA; significa que hay flujo a la entrada de la ETAP y se continua con el proceso, sino significa que no hay flujo por tanto se activa la alarma que indica ausencia de flujo (Alarma 1) para que el operario proceda verificar la válvula de la entrada.

Si se continúa con el proceso, se procede a preguntar por el nivel (LS5) del tanque que contiene el sulfato de aluminio; si el nivel no está por encima de un valor mínimo determinado entonces se activa la alarma que indica que no hay sulfato de aluminio en el tanque (Alarma 2), si por el contrario el nivel está bien se acciona la bomba dosificadora de sulfato de aluminio (D3) de acuerdo a los pulsos generados por el PLC, y se repite el ciclo cuantas veces sea necesario y las condiciones se den.

3.2.2 Modelo de automatización para medición del flujo a la entrada y la dosificación del carbonato de sodio. La figura 7 representa el diagrama de instrumentación para la dosificación del carbonato de sodio, y su proceso se describe seguidamente.

Figura 7. Diagrama de instrumentación para la dosificación del sulfato de Al.



Fuente: calculo de los autores.

La dosificación de carbonato de sodio depende del flujo de entrada y del nivel de pH que presente el agua cruda, el pH se mide a través de un pH-metro (TpH) que de acuerdo al pH genera una señal análoga de 4 a 20 mA que se lleva como entrada al PLC que de acuerdo con los parámetros almacenados de la concentración de carbonato de sodio optima a dosificar de acuerdo a los resultados de la prueba de jarras, genera una señal análoga que internamente por software se convierte de 4 a 20 mA por un equivalente de 1 a 100 pulsos/min.

Esta última señal controla el accionamiento de la bomba dosificadora de carbonato de sodio, que de acuerdo a esta dosifica o no una cantidad de carbonato expresada en mg/L., en pulsos que pueden variar de 1 a 100 pulsos/min; tratando de mantener el pH del agua en un rango admisible para el consumo humano.

En la **figura 8** se muestra el diagrama de flujo del proceso automatizado, cuya explicación es la siguiente:

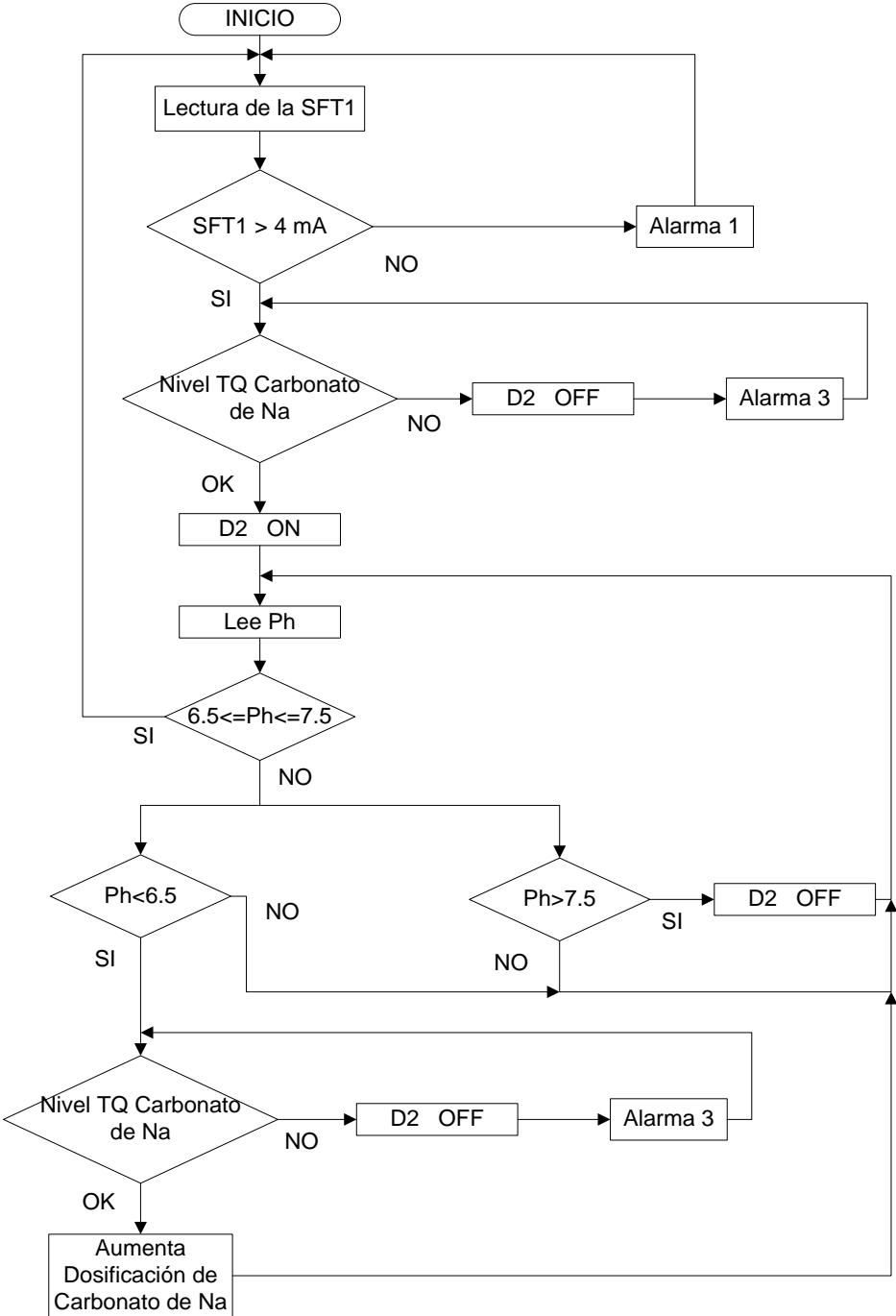
El proceso de dosificación del carbonato de sodio se inicia con la lectura constante del flujo de entrada, que se realiza con el medidor de nivel uno (EF1); si la señal que envía el transmisor de nivel uno (FT1) es mayor que 4 mA, significa que hay flujo a la entrada de la ETAP y se continúa con el proceso, sino es mayor a 4 mA significa que no hay flujo a la entrada y acciona la alarma uno (Alarma 1) que indica que no hay flujo para que el operario proceda a revisar la entrada de agua a la ETAP.

Continuando con el proceso, se pregunta por el nivel del tanque que contiene el carbonato de sodio (TQ carbonato de Na); si el tanque no tiene el suficiente nivel de carbonato de Na, entonces se garantiza que el dosificador de carbonato de sodio (D2) este apagado y se activa una alarma que indica ausencia de carbonato de sodio en el tanque (Alarma 3), si el nivel del tanque está bien por encima de un valor determinado se enciende el dosificador de carbonato de sodio (D2).

Siguiendo con el flujo del proceso, se hace la lectura del pH-metro, si la lectura del pH-metro se encuentra en un rango de 6.5 a 7.5 de la escala del pH no se dosifica carbonato de sodio; si no se encuentra en este rango pueden suceder dos casos, el primero es que el pH este por encima de 7.5 y si es este el caso, se apaga el dosificador de carbonato y sin dosificar carbonato al agua se vuelve hacer la lectura del pH; si ocurre el caso contrario, que el nivel de pH este por debajo de 6.5, se enciende el dosificador y se aumenta la dosificación de este producto

químico, hasta que se cumpla con este rango para ambos casos y se retorna al inicio del proceso.

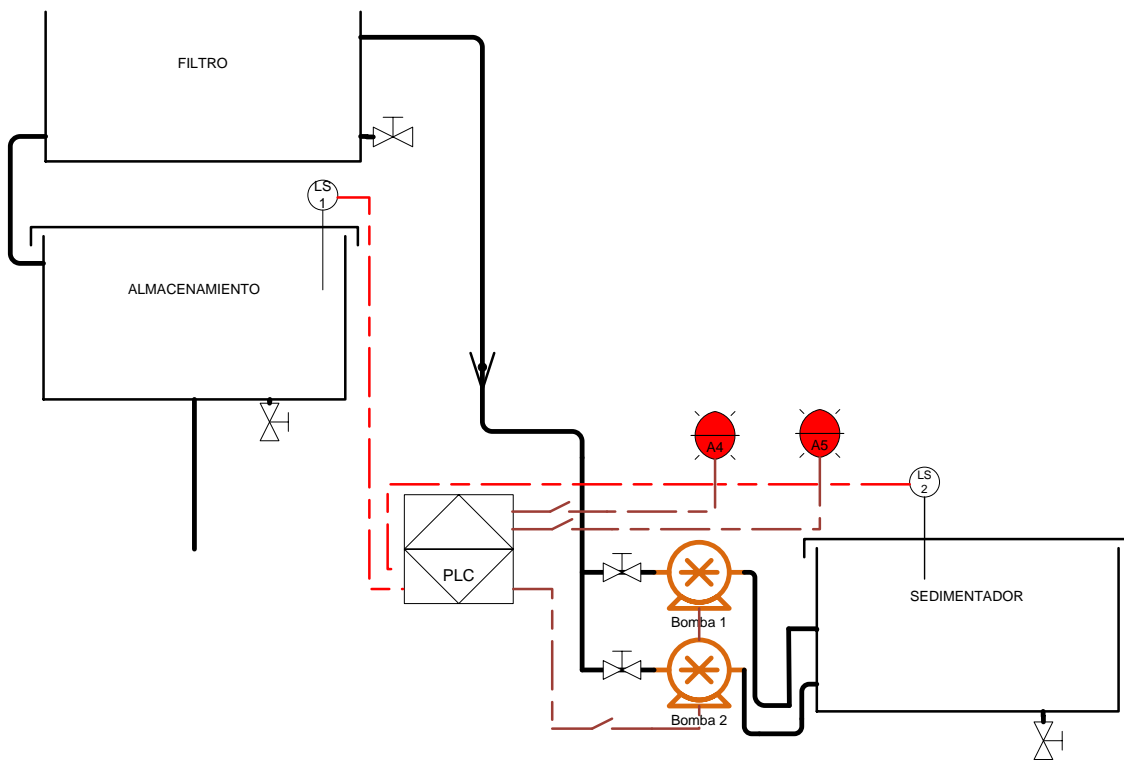
Figura 8. Diagrama de flujo del proceso de dosificación del carbonato de sodio.



Fuente: Calculos de autor.

3.2.3 Modelo de automatización para el sistema de bombeo y control del nivel del tanque de almacenamiento. La figura 9 representa el diagrama de instrumentación para el sistema de bombeo y control del nivel del tanque de almacenamiento, cuya explicación se presenta seguidamente.

Figura 9. Diagrama de instrumentación para el sistema de bombeo y control del nivel del tanque de almacenamiento.



Fuente: Calculos de autor.

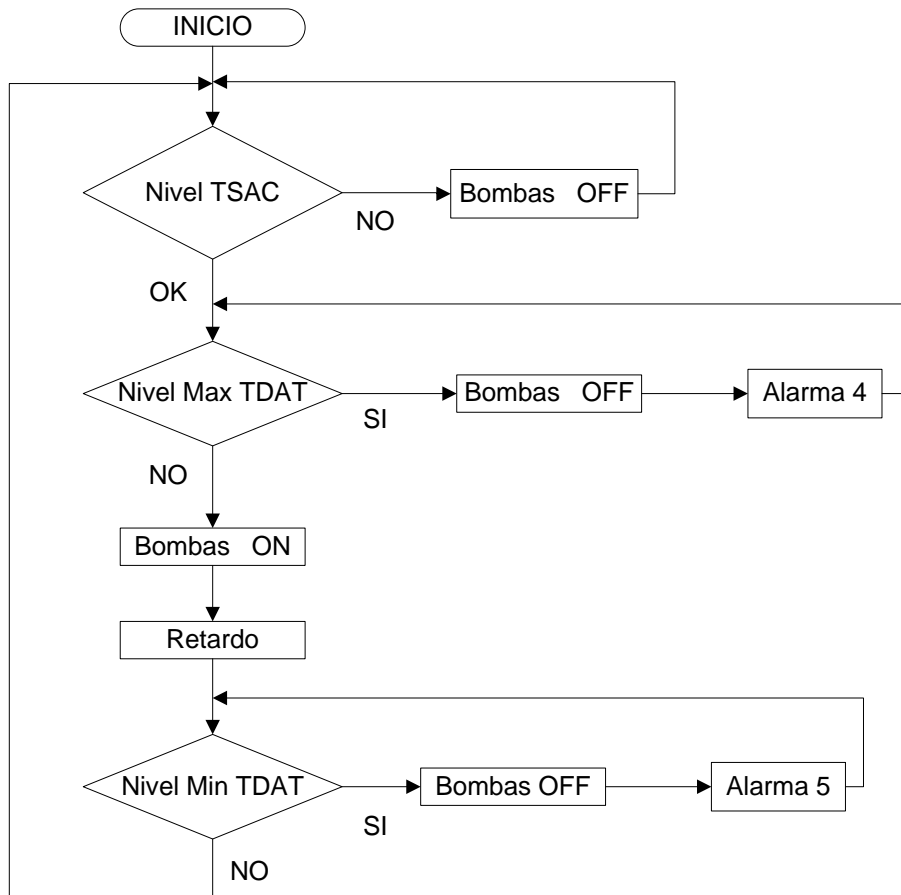
El proceso de bombeo depende del nivel del tanque sedimentador el cual se mide con un medidor de nivel eléctrico de 2 electrodos (LS2) que genera una señal de 12/24 Vdc que se lleva como entrada al PLC. La medición se realiza hacia dentro, es decir que el sw de nivel estará normalmente cerrado, teniendo la línea de datos ubicada a 40 cm del fondo del tanque; las bombas se accionan siempre y cuando el nivel del tanque sedimentador se encuentre por encima del nivel de referencia.

Cuando el nivel del tanque sea menor al nivel de referencia el sw de nivel se abre, ocasionando el cambio del estado de la señal de salida digital del PLC a 0 Vdc que controla el accionamiento de las bombas obligando a que estas se apaguen.

El accionamiento de las bombas también depende del nivel del tanque de almacenamiento el cual se mide con un medidor de nivel eléctrico de 3 electrodos (LS1) el cual genera dos señales digitales de 12/24 Vdc las cuales se llevan como entradas al PLC, para tener dos niveles de referencia, un nivel máximo y un nivel mínimo del tanque de almacenamiento. Las bombas manejan dos estados, un estado alto (encendido) y un estado bajo (apagado), los cuales se controlan por medio de una salida digital de 12/24 Vdc por relé del PLC.

En la **figura 10** se observa el diagrama de flujo para el control del sistema de bombeo y nivel del tanque de almacenamiento.

Figura 10. Diagrama de flujo para el control del sistema de bombeo.



Fuente: Calculos de autor.

El proceso de bombeo empieza preguntando por el nivel del tanque de sedimentación, si el nivel del tanque de sedimentación está por debajo del nivel de referencia, se garantiza que las bombas estén apagadas; si el nivel está bien, por encima de la referencia, se pregunta por el nivel máximo del tanque de almacenamiento (Nivel Max TDAT). Si el nivel del tanque almacenamiento es el máximo, las bombas se mantienen apagadas y se acciona una alarma que indica que el nivel del tanque es máximo (Alarma 4), y que puede haber un problema a la salida de este tanque y debe cerrarse la válvula de la entrada del flujo de agua de la ETAP.

Si el nivel no es el máximo se encienden las bombas y después de un tiempo promedio determinado de haberse encendido las bombas, se pregunta por el nivel mínimo del tanque de almacenamiento (Nivel Min TDAT). Si el nivel del tanque está por debajo del nivel mínimo, se apagan las bombas y se activa una alarma que indica que puede haber una falla en el sistema de bombeo o hay una fuga en la línea de bombeo (Alarma 5).

Y por último si el nivel del tanque sedimentador está por encima de la referencia y, el nivel del tanque de almacenamiento se encuentra por debajo del nivel máximo y por encima del nivel mínimo, se repite el ciclo de bombeo.

3.2.4 Modelo de automatización para la dosificación del hipoclorito de calcio.

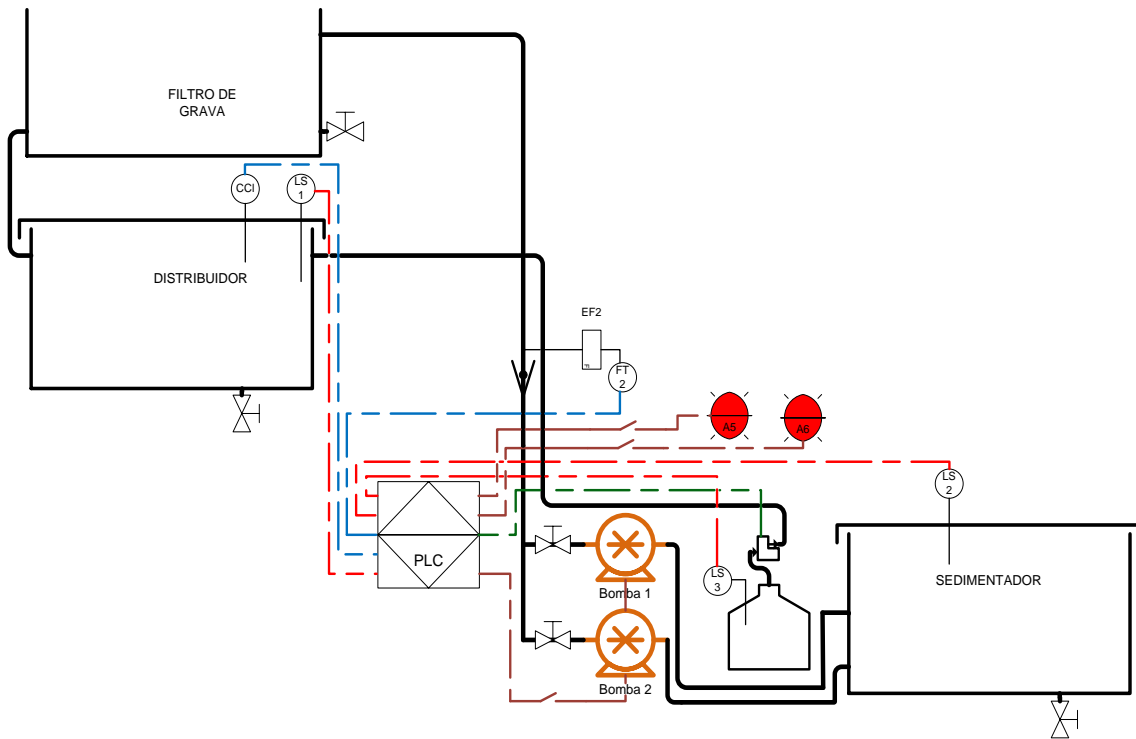
El diagrama de instrumentación del modelo de automatización para la medición del flujo de agua tratada en la parte baja de la ETAP y la dosificación del hipoclorito en el tanque de almacenamiento ubicada en parte alta de la ETAP, se presenta en la **figura 11** y su explicación se hace seguidamente.

El proceso de dosificación del hipoclorito de calcio depende del volumen del agua a desinfectar, pero como el flujo de agua en la línea de bombeo no va a ser el mismo flujo que entra a la ETAP, esto como consecuencia de la retención de parte del líquido en el floculador y en el sedimentador, y la dosificación de los productos químicos que ocasionan un cambio del volumen del agua medido a la entrada.

Por tal motivo, se instala otro medidor de flujo con placa orificio (FT2) directamente en la línea de conducción del bombeo del agua; para así de esta forma poder determinar el volumen real del líquido para hacer una correcta dosificación del

hipoclorito de calcio aplicando una cantidad de mg/L, de acuerdo a la concentración de cloro residual presente en el agua.

Figura 11. Diagrama de instrumentación para la medición del flujo de agua tratada y la dosificación de hipoclorito de Ca.



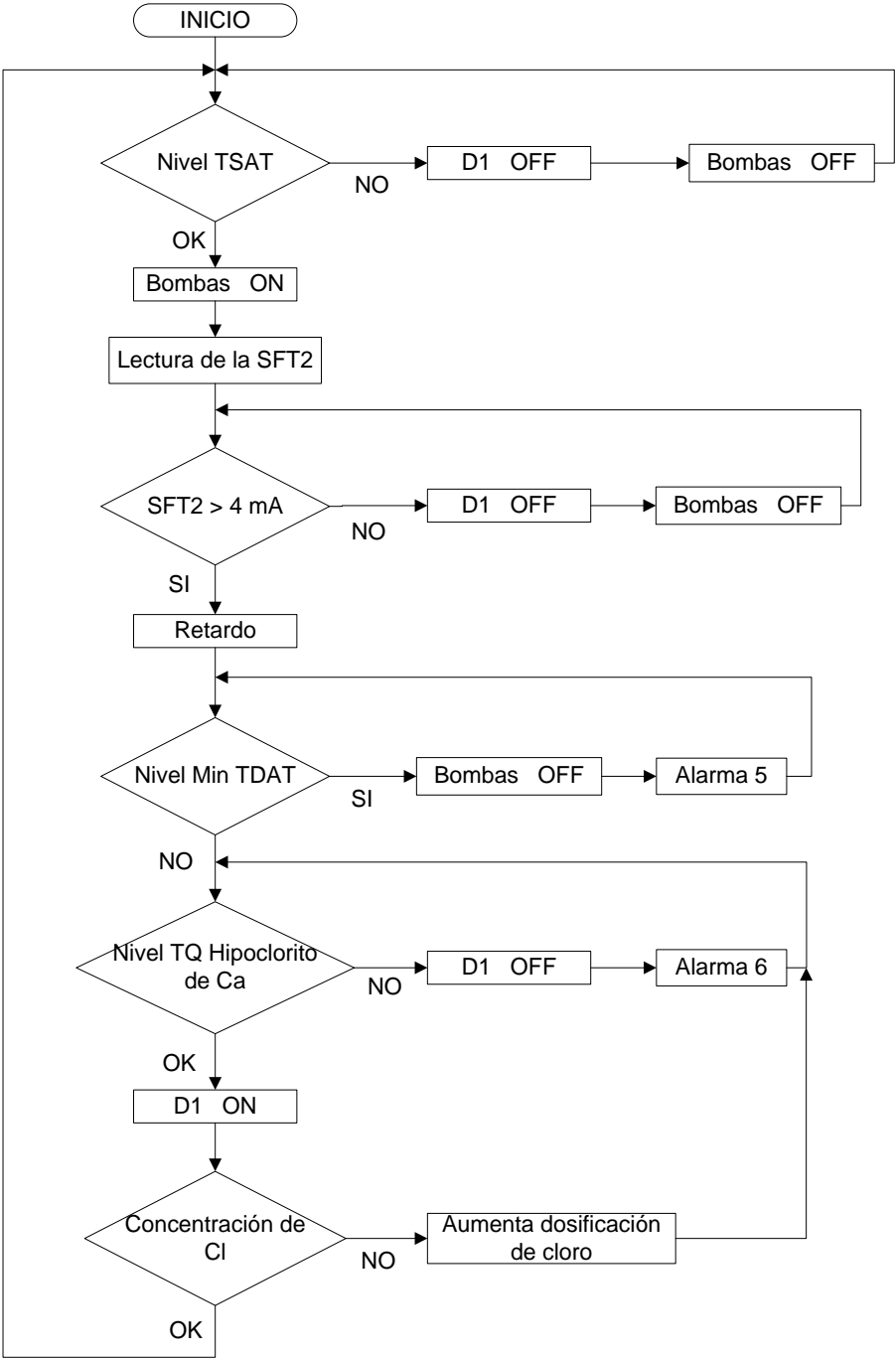
Fuente: Calculos de autor.

La concentración de cloro residual se mide con un medidor de concentración de cloró (CCI.), el cual genera una señal de salida análoga de 4 a 20 mA de acuerdo a la concentración de cloro residual en el agua que se lleva a una de las entradas de 1 a 100 pulsos/min con la cual se controla la bomba dosificadora de hipoclorito de calcio (D1) manteniendo o aumenta la dosificación del hipoclorito de calcio al agua para su desinfección.

La concentración de cloro residual que debe mantenerse en un rango de 0.2 a 0.5 mg/L, para garantizar la potabilidad del agua; pero las autoridades de la salud admiten un valor máximo de 5 mg/L, sin que este afecte la salud humana.

La **figura 12** representa el diagrama de flujo para el proceso de dosificación del hipoclorito de calcio para desinfección del agua.

Figura 12. Diagrama de flujo para la dosificación de hipoclorito de calcio.



Fuente: Calculos de autor.

El proceso de dosificación del hipoclorito de calcio se empieza preguntando por el nivel del tanque de sedimentación (Nivel TSAT), ya que el proceso de dosificación de hipoclorito de calcio debe hacerse de manera paralela al bombeo; si el nivel del tanque de sedimentación se encuentra por debajo del nivel de referencia se garantiza que el dosificador de hipoclorito de calcio (D1) y las bombas se mantengan apagadas.

Si el nivel del tanque de sedimentación está bien, por encima del nivel de referencia, entonces se encienden las bombas, se hace la lectura del medidor de flujo dos (STF2) y se pregunta si esta señal es mayor a 4 mA. Si la lectura de STF2 no es mayor a 4 mA, se garantiza que la bomba dosificadora de hipoclorito de calcio (D1) se mantenga apagada y también se apagan las bombas. Pero si la lectura de STF2 es mayor a 4 mA, se espera que transcurra un tiempo determinado y se pregunta por el nivel mínimo del tanque de almacenamiento (Nivel Min TDAT).

Si el nivel del tanque de almacenamiento es el mínimo, se apagan las bombas y activa una alarma que indica que puede haber una falla en el sistema de bombeo o hay una fuga en la línea de bombeo (Alarma 5). Si el nivel del tanque de sedimentación no es el mínimo, se pregunta por el nivel del tanque, el cual se monitorea a través del sw de nivel (LS3), que contiene el hipoclorito de calcio (Nivel TQ Hipoclorito de Ca).

Si el nivel del tanque de hipoclorito de calcio no se encuentra por encima del nivel de referencia, se garantiza que la bomba dosificadora de hipoclorito de calcio se mantenga apagada y se activa una alarma que indica un nivel bajo en el tanque del hipoclorito de calcio (Alarma 6). Si el nivel del tanque de hipoclorito está bien, por encima de la referencia, se enciende la bomba dosificadora de hipoclorito de calcio y se pregunta por la concentración de cloro.

Si la concentración de cloro no está dentro del rango de concentración admisible, se aumenta la dosificación de hipoclorito de calcio, aumentando la relación de los miligramos (mg) de hipoclorito de calcio que se aplica por cada litro de agua. Y cuando la concentración de cloro se encuentre dentro del rango admisible, se repite el ciclo y se continúa con el proceso de dosificación de hipoclorito de calcio para la desinfección del agua.

3.3 PLANO DEL DISEÑO DEL MODELO DE AUTOMATIZACIÓN GENERAL PROPUESTO PARA LA ETAP DEL ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE LLORÓ.

La solución de automatización para la ETAP del acueducto del municipio de Lloró de acuerdo con la alternativa de solución propuesta se presenta en el diseño del plano de instrumentación de la ETAP automatizada, ver **plano 3**, y la explicación de su funcionamiento se presenta con detalle seguidamente:

Los procesos automatizados para el tratamiento del agua que tendrá lugar en la ETAP del municipio de Lloró, por comodidad se describen en tres pasos, así:

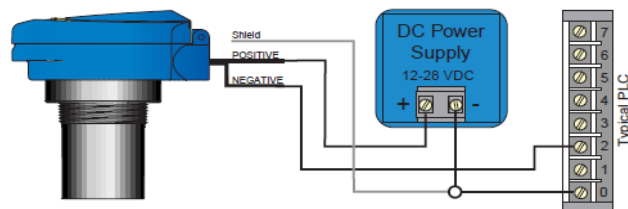
Paso 1. Determinación del flujo de agua que llega a la ETAP.

El ciclo de tratamiento al cual se someterá el agua en la ETAP del municipio de Lloró, empieza con la medición del flujo o caudal, para determinar la cantidad de agua en litros que recibe la ETAP por segundos; esta medición se hace directamente sobre el canal parshall, utilizando un medidor de nivel tipo ultrasónico (EF1), que permite hacer mediciones de nivel instantánea con una gran exactitud a partir de la altura que alcance el agua en el medidor parshall, que de manera instantánea se procesa y se cambia el nivel por el flujo, además este dispositivo es de fácil instalación y mantenimiento que evita que se interrumpa o pare completamente proceso de distribución de agua. Este medidor está ubicado en la pared superior de la entrada a este canal, como se muestra en **plano 3**.

Este medidor de nivel ultrasónico está compuesto por un sistema de sensado (transmisor y un receptor) de una señal ultrasónica, el transmisor emite una señal ultrasónica desde un punto situado a una altura determinada sobre la superficie del líquido, y recibe la señal ultrasónica reflejada sobre la superficie. La distancia de la superficie reflejante (Nivel del tanque), se determina midiendo el tiempo que ha demorado la propagación de la señal, en ir y regresar.

El tiempo de propagación es una medida directa de la distancia entre sistema de sensado y la superficie reflejante. La distancia viajada por el sonido es el producto del tiempo de propagación por la velocidad del sonido, para este caso en particular es en el aire. Como la posición del sistema de sensado es conocida, el nivel y en consecuencia el flujo del depósito, se deduce por software. Además este medidor trae integrado una unidad procesadora que genera una señal de salida de 4 a 20 mA, que es proporcional al nivel medido. Su conexión típica al PLC, se muestra en la **figura 13**.

Figura 13. Conexión del medidor de nivel ultrasónico al PLC.



Fuente: www.ferrovalvulas.com

Paso 2. Dosificación de productos químicos.

La dosificación de los productos químicos se lleva a cabo en dos etapas; en la primera etapa se dosifica el sulfato de aluminio y el carbonato de sodio aplicados en una cantidad expresada en miligramos (mg) por cada litro (L) de agua; las dosis a dosificar de cada uno de los productos depende de la prueba de jarras realizada con anticipación, donde se determina la cantidad adecuada a dosificar de cada producto por litro de agua a tratar para lograr una mezcla óptima y garantizar que las sustancias reaccionen de manera esperada.

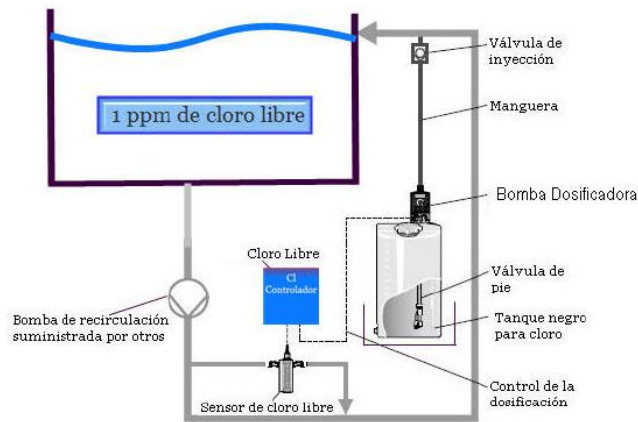
La dosificación de estos dos productos se hace directamente en el canal de mezcla rápida, donde debido a la forma particular de la construcción se experimenta un aumento de la velocidad de agitación de los productos, logrando que estos se mezclen y por consiguiente causen una reacción química casi que instantánea. Este proceso de dosificación además de estar ligado a la prueba de jarras, depende también de la turbidez que presente el agua, la cual se mide con un indicador visual de turbidez, y en base a la medida que se tome el operario puede por software la cantidad de sulfato de aluminio a dosificar, ya que básicamente la turbidez del agua depende de la concentración de aluminio presente en el agua.

Este proceso también está ligado a el pH que se mide de manera independiente con un pH-metro (TpH) en el tanque de floculación lenta, ya que en este tanque se recibe el agua proveniente del canal de mezcla rápida luego la dosificación, el cual genera una señal análoga de 4 a 20 mA en base a la escala de pH medida. Esta señal se lleva al PLC e internamente actúa sobre el control de la bomba dosificadora de carbonato de sodio, ya que con la aplicación del carbonato de sodio se controla la escala del pH del agua.

La segunda etapa de la dosificación de los productos químicos es la dosificación de hipoclorito de calcio, que se hace directamente en el tanque de almacenamiento a través de una línea de conducción paralela a la línea de bombeo, debido a que en el tanque de floculación se retiene parte del agua y por consiguiente se retendría también el hipoclorito, causando un desperdicio del químico. La dosificación del hipoclorito de calcio en el tanque de almacenamiento depende directamente de la concentración de cloro residual, debido a que hay un rango admisible de cloro residual recomendado que está entre 0.2 y 0.5 mg/L de hipoclorito, aunque las autoridades de la salud admiten un valor máximo de 5 mg/L.

La medición del cloro residual se hace con un medidor de cloro libre (CCI), que en base a la concentración de cloro medida genera una señal de 4 a 20 mA que se lleva como entrada al PLC, donde internamente se procesa actuando directamente sobre el control del dosificador de hipoclorito de calcio; manteniendo o alterando los pulsos por minuto con que se dosifica el producto químico. La instalación típica de este tipo de bombas dosificadoras, se muestra en la **figura 14**.

Figura 14. Instalación típica de un dosificador.



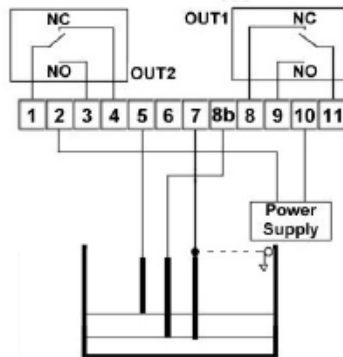
Fuente: <http://miagua.com>

Paso 3. Etapa de bombeo del agua tratada al tanque de filtración desde el tanque sedimentador.

El proceso de bombeo del agua desde el tanque de sedimentación hasta el tanque de filtración se hace a través de dos bombas (bomba 1 y bomba 2), las cuales se accionan a través de una estación de control, que a su vez se controla con el PLC en base al nivel del tanque de sedimentación y el tanque de almacenamiento que es monitoreado por los switches de nivel LS2 y LS1, instalados en el tanque de sedimentación y en el tanque de almacenamiento respectivamente. Estos switches son de un estado normalmente abierto y al hacer contacto con el agua cambia su estado, es decir, se cierra el circuito permitiendo que la corriente circule por este, suministrando una señal de 24 Vdc a una de las entradas digitales del PLC.

En la **figura 15**, se presenta el esquema de conexionado básico para un switch de nivel de dos hilos o electrodos, que permiten fijar un nivel máximo y un nivel mínimo.

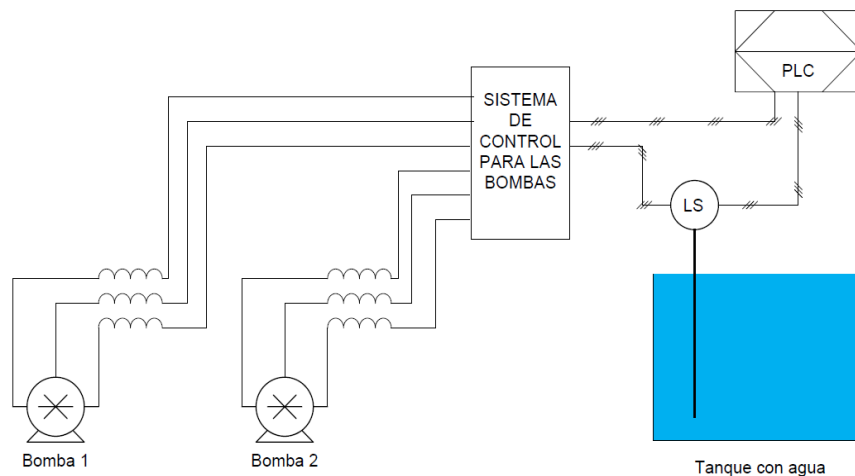
Figura 15. Esquema de conexionado básico de un switch de nivel de dos hilos.



Fuente: <http://www.escarre.com>

Esta señal digital que suministran los switches de nivel se lleva a una de las entradas del PLC, e internamente por software se desarrolla la lógica de control y se genera una señal digital de 24 Vdc en una de las salidas digitales por rele del PLC, para el manejo automático de la estación de control para las bombas. La conexión típica de la estación de control para las bombas con el PLC, se presenta en la **figura 16**.

Figura 16. Esquema de conexión de la estación de control para las bombas con el PLC.



Fuente: Calculos de autor.

3.3.1 Equipos a utilizar en la implementación del diseño. Solo se presentan los requerimientos para el criterio de selección del PLC porque para los otros equipos ya se hizo con anterioridad, y se muestran en la **tabla 12**.

Tabla 12. Requerimientos para la selección del PLC.

FUNCION EN LA ETAP	EQUIPO	ABREVIATURA EN LA FIGURA 13	INTERFACE EN EL PLC
Medir el flujo a la entrada de la ETAP	Medidor de nivel ultrasónico	FT1	1 entrada análoga de 4 a 20 mA
Medir el pH del agua	pH-metro	TpH	1 entrada análoga de 4 a 20 mA
Dosificar producto químico		D1, D2, D3	3 salidas análogas de 4 a 20 mA
Monitorear el nivel del tanque de sedimentación	Switche de nivel de dos hilos	LS2	1 entrada digital de 24 Vdc
Monitorear el nivel del tanque de almacenamiento	Switche de nivel de dos hilos	LS1	1 entrada digital de 24 Vdc
Monitorear el nivel del tanque de hipoclorito de calcio	Switche de nivel de dos hilos	LS3	1 entrada digital de 24 Vdc
Monitorear el nivel del tanque de carbonato de sodio	Switche de nivel de dos hilos	LS4	1 entrada digital de 24 Vdc
Monitorear el nivel del tanque de sulfato de aluminio	Switche de nivel de dos hilos	LS5	1 entrada digital de 24 Vdc
Medir la concentración de cloro residual	Medidor de cloro libre	CCI	1 entrada análoga de 4 a 20 mA
Medir el flujo en la línea de bombeo	Medidor de flujo con placa orificio integrada	FT2	1 entrada análoga de 4 a 20 mA
Indicar una falla	Lámpara	A1, A2, A3, A4, A5, A6	6 salidas digitales por relé de 24 Vdc
Controlar las bombas	Estación de control para bombas	Bomba1, Bomba2	1 salida digital por relé de 24 Vdc

Configuración del PLC. De la tabla anterior, se extrae que la configuración mínima del PLC debe ser la siguiente:

- 3 salidas análogas de 4 – 20 mA
- 7 salidas digitales por rele de 24 vdc
- 4 entradas análogas de 4 – 20 mA
- 5 entradas digitales de 24 vdc

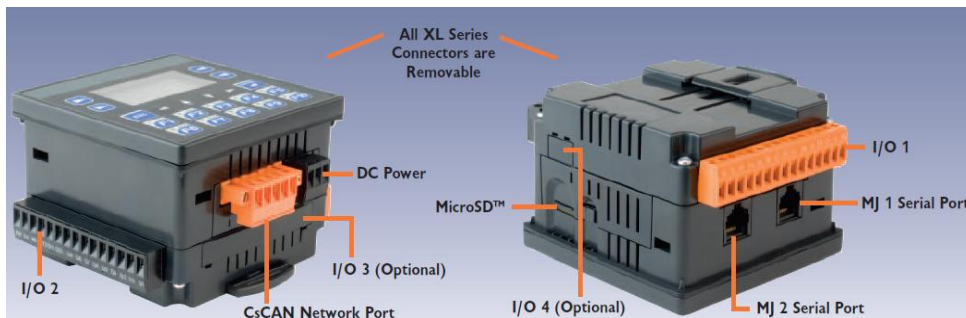
De acuerdo a los requerimientos del diseño de automatización para la ETAP de Lloró y al presupuesto disponible por parte de la alcaldía municipal, se toma como referencia el PLC de la serie **XL series OC de HORNER**, ver **figura 17**, y en concreto el **OCS HE-XT-104** que dispone de al menos de la siguiente periférica integrada:

- HMI y PLC integrados
- Pantalla Gráfica Touchscreen 3.5"
- 24 entradas Digitales (4 HSC)
- 16 salidas digitales (2 PWM)
- 2 entradas análogas
- 1 puertos seriales
- 1 puerto de expansión CsCAN
- 1 slot para microSD

Como los periféricos que trae integrado este PLC no son suficientes, se adicionaron 3 módulos más, para que el equipo cumpla con los requerimientos y cuenta con periféricos disponibles para futuras aplicaciones que puedan hacerse; y son los siguientes:

- 1 Módulo Smartmod, que dispone de 8 entradas análogas de 4-20 mA.
- 2 Modulos Smartmod, que dispone de 4 salidas análogas de 4 – 20 mA.

Figura 17. PLC OCS HE-XT-104.



Fuente: Hoja de datos del XL Series OCS

Switche de nivel. Todos los switches del plano son de 2 puntos por conexión, es decir tienen un electrodo común y 2 electrodos independientes, para poder tener dos niveles de referencia; por lo cual se selecciono el switch de nivel **RAL 02**, ver **figura 18**, el cual señala la presencia de líquido controlando la conductividad entre dos electrodos instalados en el depósito a controlar y un electrodo común de referencia. Cuando el electrodo tiene contacto con el líquido hay un paso de corriente que determina la acción del aparato.

Figura 18. Switche de nivel RAL 02 a dos puntos.



Fuente: <http://www.escarre.com>

El circuito de medida funciona con corriente alterna para evitar el fenómeno de electrólisis en el líquido y la corrosión de los electrodos. El RAL 02 tiene las siguientes características:

- Tensión de alimentación: 24VAC/DC
- Programación: A través de switch
- Consumo: 2 VA/ 1.8W máx.
- Tensión de electrodo: 5 Vac máx.
- Corriente de electrodo: 0.1 mA máx.
- Conductividad mínima: 15 μ S
- Temperatura de empleo: -20°C ÷ 70°C
- Salida: 2 contactos SPDT
- Tiempo de conmutación: 0,3 / 1,5 s. (configurable)
- Tiempo de liberación: 1,5 / 3,0 s. (configurable)
- Señalizaciones: LED verde: alimentación
- LED rojo: Nivel superado
- Grado de protección: IP20
- Dimensiones: 90 (H) x 35 (L) x 60 (P)

Transmisor de nivel ultrasónico. El medidor de nivel ultrasónico elegido para la medición del flujo es el **Microsonic BM98**, ver **figura 19**, ya que es un medidor extremadamente económico, ideal para la medición y monitoreo de niveles de líquido en estanques abiertos y cerrados. Su pequeño tamaño lo hace muy compacto, combinando sensor y electrónica en un solo cuerpo. Además incluye un elemento sensor para compensar cambios de temperaturas y garantizar la correcta medición de nivel. Y presenta la siguiente información técnica:

Figura 19. Medidor de nivel ultrasónico Microsonic BM98



Fuente: Hoja de datos del Microsonic BM98

- Rango: 0,2 a 5 m
- Salida: 4-20 mA, Span proporcional o inversamente proporcional
- Exactitud: < 0,2 % del Span máximo
- Resolución: 3 mm
- Calibración: Por medio de imán
- Display: 2 LEDs
- Alimentación: 17 a 30 VDC
- Corriente lazo: 4 a 20 mA
- Ángulo del haz: 8° a -3 dB límite
- Tasa de respuesta: inmediata 0,2 m/s
- Temperatura operación: continua 0°C a 60°C
- Temperatura sensor: máxima 100°C por 30 min
- Presión: 3 bar sobre la presión atmosférica
- Grado protección: IP68, sumergible

Transmisor de pH. El medidor de pH que se eligió fue el **HI 8614L** de **HANNA**, ver **figura 20**, ya que es ideal para medición continua de pH; además es económico y de buena calidad. El medidor de pH HI 814L presenta los siguientes datos técnicos:

Figura 20. Transmisor de pH con indicación digital.



Fuente: Hoja de datos del pH HI 814L

- Rango : pH 0 a 14
- Temperatura de operación -5 a 80°C
- Alimentación eléctrica 20 a 36 Vdc
- Boquilla para inmersión
- Salida análoga 4-20 mA
- Con electrodo convertible de vidrio con cuerpo plástico , electrodo de referencia y compensación automática de temperatura
- Precisión 0,01 pH
- Caja aprueba de polvo y agua (IP65)
- Resolución +/- 0,02 pH.

Transmisor de cloro residual. El medidor de cloro seleccionado para la implementación del diseño es el **Serie CL4000**, ver **figura 21**, sensores para cloro usado con el **MicroChem®2**. Este medidor presenta las siguientes características:

Figura 21. Transmisor de cloro residual.



Fuente: Hoja de datos técnicos del serie CL4000

- Analizador en línea para determinación continua de cloro residual libre en agua potable.
- Rango de medida de 0 a 5 ppm, con precisión ± 0.1 ppm
- Relés de alarma por alto y bajo cloro residual (contactos libres de tensión)
- Salida analógica 4-20 mA
- Electrodo con ánodo de cobre y cátodo de oro
- Sensores que no requieran membranas
- Compensación de pH con anhídrido carbónico
- Se deberá incluir cilindro de CO₂ de 20 kg (mínimo), con su correspondiente válvula reguladora
- Presión de operación máxima de 10 bar.

Medidor de turbidez. El medidor de turbidez elegido para la implementación del diseño es el **turbidímetro digital portátil modelo 2100P**, ver **figura 22**, de **Hach** ideal para esta aplicación; ya que dispone de las siguientes características:

Figura 22. Turbidímetro digital portátil modelo 2100P



Fuente: Hoja de datos del turbidímetro digital portátil modelo 2100P de Hach

- Método de medición: razón nefelométrica entre luz transmitida y luz absorbida a 90°
- Equipo portable
- Rango: 0 a 4000 NTU con ajuste de rango automático
- Resolución: 0.01 NTU
- Precisión: \pm 2% de la lectura
- Calibración: patrones primarios de Formazina
- Display: cristal líquido cuatro dígitos
- Lámpara: filamento de tungsteno, vida útil mayor a 100 000 lecturas
- Detector: fotocélula de silicio
- Celda: 60 x 25 mm de vidrio borosilicato con tapa roscada y línea de enrasado de 15 ml
- Temperatura de operación: 0 a 35°C
- Humedad relativa menor al 90%
- Alimentación: 4 baterías alcalinas AA o eliminador de baterías
- Cuerpo: ABS plástico de alto impacto.

Dosificadores de productos químicos. Los dosificadores de producto químicos deben tener unas características propias para cada producto químico a dosificar y también deben ajustarse a las necesidades de la planta. Los dosificadores que más se ajustan al proceso de la planta son los **Beta0220**, ver **figura 23**, de la **Original Alemana ProMinent Miagua**, y cuentan con las siguientes características:

Figura 23. Bomba dosificadora Beta0220



Fuente: Hoja de datos del Beta0220

- Dosificadores de sulfato, hipoclorito y carbonato.
- Salida 1 a 180 pulsos por minuto. Son pulsos por contacto
- Rango graduable hasta 20 litros por hora a 2 bar
- Ajuste en 10 pasos de la frecuencia de velocidad del estroque desde 10 – 100%
- Ajuste continuo del estroque de 0 – 100%
- Cabezal en PVDF resistente a casi todos los químicos
- Display de tres LED's para indicar operación, falla y alerta.
- Alimentación 115 Vac a 60 Hz
- Bomba para la cloración u otros productos para tratamiento de agua

3.3.2 Funcionamiento de la ETAP al momento de implementar el diseño de automatización general. En funcionamiento de la planta de tratamiento de agua del acueducto del municipio de Lloró al momento de implementar el diseño de automatización, se presenta a través de un diagrama de flujo, ver **figura 24**, y su explicación es la siguiente:

El proceso de tratamiento empieza con lectura del flujo de agua a la entrada de la ETAP, la cual se hace con el transmisor de nivel ultrasónico (FT1); se inicia preguntando por la señal de salida de este transmisor (SFT1). Si la señal de este transmisor no es mayor a 4 mA, se activa una alarma que indica que no hay flujo de agua a la entrada de la ETAP (Alarma 1) para que el operario proceda a verificar la válvula ubicada a la entrada del canal parshall; pero si la señal es mayor a 4 mA, quiere decir que hay flujo a la entrada de la ETAP, y se procede a preguntar por el nivel del tanque de sulfato de aluminio.

Si el nivel del tanque de sulfato de aluminio (Nivel TQ Sulfato) se encuentra por debajo del nivel mínimo de referencia, se activa una alarma que indica que no hay suficiente sulfato de aluminio en el tanque (Alarma 2); pero si el nivel de este tanque está bien, es decir por encima del nivel de referencia, se procede a preguntar por el nivel del tanque de carbonato de sodio.

Si el nivel del tanque de carbonato de sodio (Nivel TQ Carbonato) se encuentra por debajo del nivel mínimo de referencia, se activa una alarma que indica que no hay suficiente carbonato de sodio en el tanque (Alarma 3); en cambio si el nivel de este tanque está bien, es decir por encima del nivel de referencia, se accionan los dosificadores de sulfato de aluminio y carbonato de sodio, y se continua con el proceso.

Luego de accionar las bombas dosificadoras de sulfato de aluminio y carbonato de sodio, se procede a preguntar por el pH del agua, el cual se fija en un rango admisible por las autoridades de la salud. Si el pH no se encuentra dentro del rango admisible, entre 6.5 y 7.5, se suministra carbonato de sodio como ya se explico en la subrutina para el proceso de dosificación de carbonato de sodio, ver **figura 8**; pero si el pH se encuentra dentro del rango, se procede a preguntar por el nivel del tanque de sedimentación de agua cruda.

Si el nivel del tanque de sedimentación de agua cruda (TSAC) no se encuentra por encima del nivel de referencia, se garantiza que las bombas (Bombas) y el dosificador de hipoclorito de calcio (Dosificador de hipoclorito de Ca) permanezcan

apagados; pero si el nivel está bien, por encima del nivel de referencia, se procede a preguntar por el nivel máximo del tanque de almacenamiento de agua tratada.

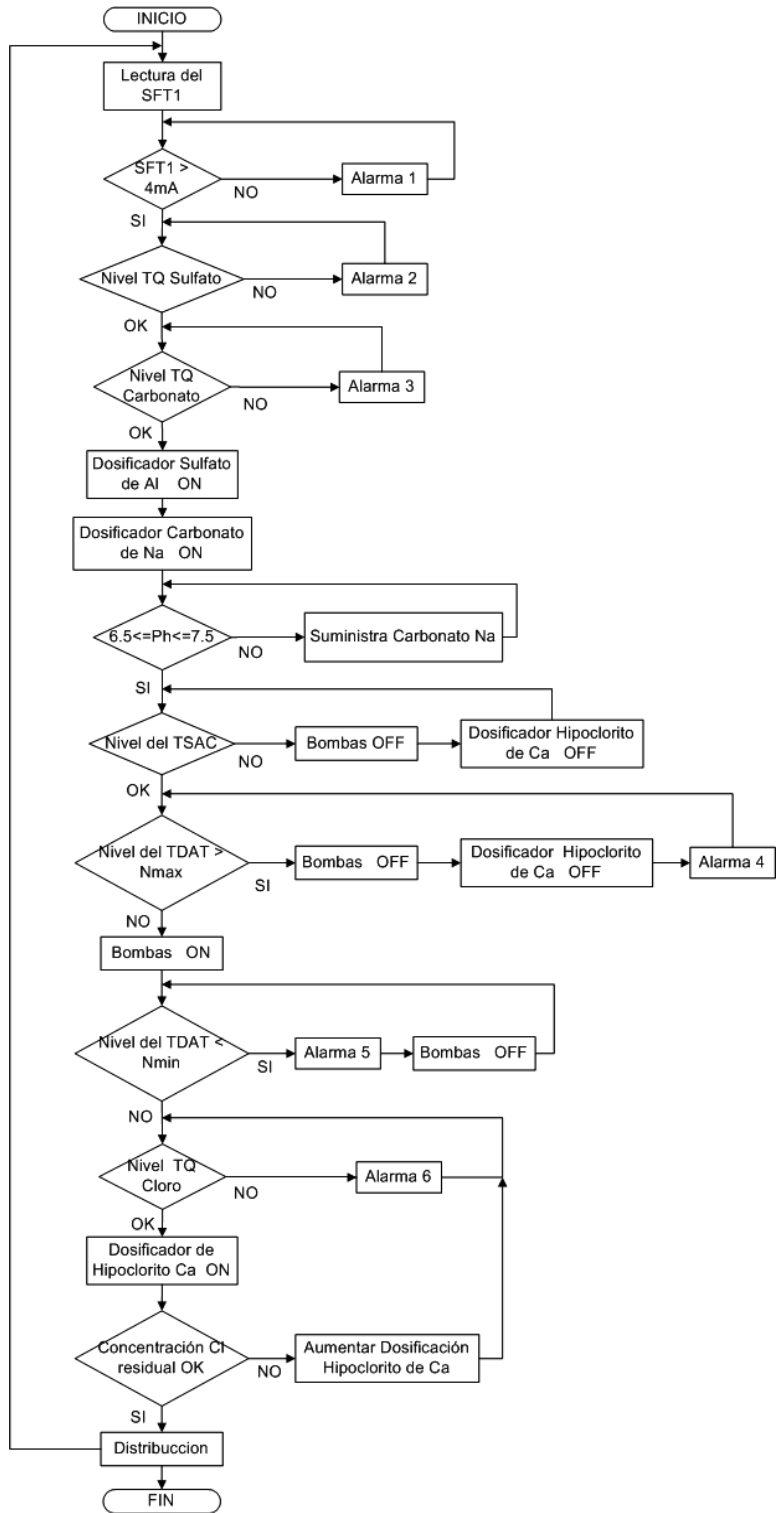
Si el nivel del tanque de almacenamiento de agua tratada (Nivel del TDAT) está por encima del nivel máximo de referencia (Nmax), se mantienen apagadas las bombas y el dosificador de hipoclorito de calcio; si el nivel no está por encima del nivel máximo de referencia, se encienden las bombas y después de un tiempo (retardo), como se explico en la subrutina del sistema de bombeo, ver **figura 10**, de se procede a preguntar por el nivel mínimo de referencia del tanque de almacenamiento de agua tratada.

Si el nivel del tanque de almacenamiento de agua tratada está por debajo del nivel mínimo de referencia (Nmin), se apagan las bombas y se activa una alarma que indica que no hay flujo de agua hacia el tanque filtración (Alarma 5) producto de una falla en las bombas o una fuga en la tubería; para que el operario verifique cual es el posible problema. Si el nivel del tanque no está por debajo del nivel mínimo de referencia, se procede a preguntar por el nivel del tanque de hipoclorito de calcio.

Si el nivel del tanque de hipoclorito de calcio (Nivel TQ Cloro) no está por encima del nivel de referencia, se activa una alarma que indica que no hay suficiente hipoclorito de calcio en el tanque; pero si el nivel está bien, por encima del nivel de referencia, se enciende el dosificador de hipoclorito de calcio (Dosificador de Hipoclorito de Ca) y luego se pregunta por la concentración de cloro residual en el tanque de almacenamiento de agua tratada.

Si el nivel de concentración de cloro residual (Concentración de Cl residual) no está bien, se aumenta la dosificación de hipoclorito de calcio como se describió en la subrutina para la dosificación del hipoclorito de calcio, ver **figura 12**; finalmente si la concentración de cloro residual está bien se procede con la distribución del agua potable hacia los hogares a través de la red de distribución secundaria.

Figura 24. Diagrama de flujo del funcionamiento de la ETAP automatizada.



Fuente: calculo de los autores

4. ANALISIS FINANCIERO PARA LA IMPLEMENTACION DEL DISEÑO DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACION EN LA ETAP DEL MUNICIPIO DE LLORÓ.

El análisis financiero para la implementación del diseño del sistema de automatización se realizó en dos fases; en la primera fase se realizó la cotización de los equipos y con estas se obtuvo el costo total para los equipos de automatización, ver **tabla 13**; y la fase dos se realizó la evaluación costo general de la implementación del diseño del sistema, que comprende el diseño y la implementación del sistema de automatización, y se presenta en detalle en la **tabla 14**.

La cotización de los equipos para la implementación del diseño se realizó teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- Características ajustables a las condiciones del diseño
- Asequibles de acuerdo al presupuesto del municipio
- Funcionalidad
- Garantía y respaldo técnico.

Tabla 13. Costo de los equipos de automatización.

Equipo	Especificaciones	Costo Unit. sin iva	Costo con iva	Cantidad	Total
Equipo de prueba de jarras	5 jarras, agitadores, buretas, pH-metro digital, y medidor de turbidez digital	\$ 2.980.000,00	\$ 3.456.800,00	1	\$ 3.456.800,00
Medidor de concentracion de cloro libre	rango 0 a 10 ppm salida de 4- 20 mA alimentacion 24 Vdc	\$ 2.500.000,00	\$ 2.900.000,00	1	\$ 2.900.000,00
pH-metro	salida de 4 - 20 mA	\$ 2.350.000,00	\$ 2.726.000,00	1	\$ 2.726.000,00
Turbidimetro	0 - 4000 NTU, 0 - 500 Cu	\$ 3.480.000,00	\$ 4.036.800,00	1	\$ 4.036.800,00
Accionamiento de control para las bombas	manejado por sw de nivel	\$ 1.200.000,00	\$ 1.392.000,00	1	\$ 1.392.000,00
Sw de nivel	2 electrodos de 3 m alimentacion 24 Vdc	\$ 1.750.000,00	\$ 2.030.000,00	2	\$ 4.060.000,00
Sw de nivel	2 electrodos de 80 cm alimentacion 24 Vdc	\$ 1.625.000,00	\$ 1.885.000,00	3	\$ 5.655.000,00
Transmisor de nivel	ultrasonico y para interperie salida de 4 - 20 mA	\$ 3.000.000,00	\$ 3.480.000,00	1	\$ 3.480.000,00
Transmisor de flujo	placa orificio integrada caudal maximo 10 L/seg diametro de la tuberia 4 " salida de 4 - 20 mA	\$ 2.800.000,00	\$ 3.248.000,00	1	\$ 3.248.000,00
Acometidas	En general	\$ 2.500.000,00	\$ 2.900.000,00	1	\$ 2.900.000,00
Anaqueles	120 cm X 80 cm	\$ 450.000,00	\$ 522.000,00	1	\$ 522.000,00
Protecciones para bombas	Aislamiento	\$ 800.000,00	\$ 928.000,00	1	\$ 928.000,00
Bomeras	Varios tipos	\$ 320.000,00	\$ 371.200,00	74	\$ 371.000,00
Computador	Intel Core 2 Duo 2.8 GHz RAM 4 GB, DD 320 GB	\$ 1.290.000,00	\$ 1.496.400,00	1	\$ 1.496.400,00
PLC	HMI y PLC integrados	\$ 2.760.000,00	\$ 3.201.600,00	1	\$ 3.201.600,00
Software	SCADA	\$ 1.500.000,00	\$ 1.740.000,00	1	\$ 1.740.000,00
Dosificador de Hipoclorito	salida de 1 - 100 pulsos/min	\$ 1.955.900,00	\$ 2.268.844,00	1	\$ 2.268.844,00
Dosificador de Sulfato	salida de 1 - 100 pulsos/min	\$ 1.955.900,00	\$ 2.268.844,00	1	\$ 2.268.844,00
Dosificador de carbonato	salida de 1 - 100 pulsos/min	\$ 1.955.900,00	\$ 2.268.844,00	1	\$ 2.268.844,00
Cable U	para control universal 5m.	\$ 92.700,00	\$ 107.532,00	3	\$ 322.596,00
COSTO TOTAL DE LOS EQUIPOS			\$ 49.242.728,00		

Fuente: calculo de los autores.

En la **tabla 13** se especifica el costo de los equipos de instrumentación, en la primera columna se presenta el nombre del equipo, en la segunda columna las especificaciones y/o características que deben tener los equipos, en la tercera columna se presenta el costo unitario de los equipos excluyendo el iva, en la cuarta columna se incluye el iva en el costo, en la quinta columna se especifica la cantidad de requerida por equipo y en la última columna se muestra el costo total de para cada grupo de equipos.

Tabla 14. Costo general de implementación del diseño del sistema de automatización para la ETAP del municipio de Lloró.

Descripción	Valor	AIU	Valor Total
Diseño del plano	\$ 10.000.000,00	2,50%	\$ 10.250.000,00
Mano de obra calificada	\$ 21.000.000,00	2,50%	\$ 21.515.000,00
Mano de obra no calificada	\$ 7.000.000,00	2,50%	\$ 7.175.000,00
Equipos de instrumentación	\$ 49.242.728,00	2,50%	\$ 50.473.796,20
Materiales	\$ 500.000,00	2,50%	\$ 512.500,00
Flete materiales y equipos	\$ 2.200.000,00	2,50%	\$ 2.255.000,00
SUBTOTAL	\$ 89.942.728,00	\$	92.191.296,20
AIU 4.5%		\$	4.148.608,33
Vr. TOTAL	\$ 96.339.904,53		

Fuente: Cálculos de autor

Todos los valores incluyen el IVA.

La **tabla 14** muestra el costo general para la implementación del modelo de automatización en esta ETAP, donde se presenta con detalle el costo de cada actividad, así:

En la columna uno se muestra el nombre de la actividad realizada o a realizar, en la segunda columna se da el costo de cada actividad, en la tercera columna se muestra el factor AIU (adicionales, imprevistos y utilidades), individual para cada actividad y en la cuarta columna se da el costo total incluyendo el AIU. Adicionalmente se tiene en cuenta un AIU global para el costo total de la implementación, obteniendo así un nuevo valor para el costo global o el gran total para la implementación del modelo.

5. FORMULACION DE LA PROPUESTA DEL DISEÑO DEL NUEVO ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE LLORÓ.

El Banco de Programas y Proyectos de Inversión es la instancia que liga la planeación con la programación y el seguimiento de programas y proyectos de inversión pública, por medio de sus componentes y funciones. Está integrado por los componentes legal e institucional, educación, capacitación y asistencia técnica, metodologías y sistemas y herramientas computacionales.

La escogencia de esta metodología para la formulación del proyecto, se hizo porque es la metodología que exige el departamento de planeación nación, para la formulación de proyectos de inversión pública. Además, formular esta propuesta con esta metodología se garantiza que el proyecto participe en el proceso de evaluación tanto a nivel nacional como local.

MODULO 1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.

Automatización De La Planta De Tratamiento De Agua Del Acueducto De Lloró-Chocó.

FORMATO ID-01. IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA O NECESIDAD.

El Municipio de Lloro ubicado en el departamento del Choco no cuenta con una planta de potabilización de agua apta para el consumo humano, situación que ha generado la propagación de enfermedades comunes, en problemas de salud pública para la población.

En el momento el Municipio de Lloro está habitado por 2.750 habitantes, según información estadística del DANE. De los cuales la totalidad de la población no cuenta con una fuente de agua potable en condiciones mínimas de calidad, como le requieren las normas de calidad RAS.

1. **Efectos directos**
Mal estado de la planta de tratamiento de agua
2. **Efectos indirectos**
Mal uso que se le da a la planta de tratamiento de agua.
3. **Causas directas**
Infraestructura de la planta
4. **Causas indirectas**
Mal manejo de operación por parte del operario de la plana.

FORMATO ID-02. CARACTERISTICAS DEMOGRAFICAS DE LOS HABITANTES DIRECTAMENTE AFECTADOS POR LA FALTA DE UNA PLANTA DE POTABILIZACIÓN DE AGUA.			
Nro. Habitantes Afectados:	2750		
Necesidades Básicas insatisfechas(NBI%):	67.3		
Producto interno bruto regional(PIB%):	0.37		
PIB Percápita regional(\$):	1.823.862		
Tasa de desempleo regional:	10%		
EDADES POR GENERO Y EN AÑOS	M	F	
(0-14)	12%	10%	
(15-19)	10%	16%	
(20-59)	15%	30%	
MAYOR DE 60 AÑOS	2%	5%	
TOTAL DE POBLACION POR GENERO	39%	61%	
Fuente:			
ESTRATO	M	F	
1	39%	61%	
GRUPOS ETNICOS	M	F	
POBLACION INDIGENA	150	200	
POBLACION AFROCOLOMBIANA	1100	1300	
TOTAL DE POBLACION POR GENERO	1250	1500	
FORMATO ID-03. ZONA AFECTADA POR LA FALTA DE AGUA POTABLE.			
Región:	Occidente.		
Departamento:	Choco.		
Municipio :	Lloró.		
Clase del centro de poblado:	CM-Cabecera		
Resguardo indígena:	Guadalito		
Localización específica:	Zona Occidental del Dpto. del Choco		
FORMTO ID-04. CARACTERIZACIÓN DEL USO DEL SUELO.			
Categoría	Hectáreas	%	Producto
Urbana	5.25	45.46%	servicio agua
Suburbana:	19.10	19.19%	agricultura, minería
Comercial	35.20	35.36%	almacenes
TOTAL	99.55	100%	
Fuente: http://lloro-choco.gov.co			

FORMATO ID-05. CARACTERIZACIÓN ECONÓMICA.			
Categoría	Hectáreas	%	Producto
Agrícola cacao, etc.	35.48	31.85	plátano, yuca,
piscicultura:	35.48	31.85	pesca
Comercio tiendas	6.33	5.68	almacenes,
Servicios	17,376	15.60	Energía elect. Agua no pot.
TOTAL	111.40	100%	
Fuente: http://lloro-choco.gov.co			
FORMATO ID-06. ANALISIS DE PARTICIPACIONES.			
Actor:	“Consejo comunitario integral de Lloró, Cocoillo”		
Entidad:	LLORO		
Categoría:	Beneficiario		
Características:	Agua potable		
Tipo contribución o solución:	Automatización de la planta de tratamiento de agua.		
Cocoillo:	Organización sin ánimo de lucro, que administra los territorios colectivos de las comunidades negras e indígenas bajo su jurisdicción.		
FORMATO ID-11. OBJETIVOS.			
OBJETIVO GENERAL.			
Mejorar el tratamiento de agua potable del Municipio de Lloró, mediante un modelo de diseño que controle y automatice las variables de flujo, caudal, concentración de cloro, sulfato de aluminio y PH del agua para un apto consumo.			

METAS.

Reducir por completo la cantidad de enfermedades transmitidas por esta planta de tratamiento de agua o acueducto y obtener un agua potable que sea apta para el consumo humano.

OBJETIVOS ESPECIFICOS.

Presentar el proyecto al gobierno municipal y entidades involucradas en el manejo y control del tratamiento del agua del municipio de Lloro.

META

Aprobación de la propuesta e implementación de esta en el municipio.

Gestionar aliados estratégicos que proporcionen la implementación del modelo de automatización en la planta de tratamiento de agua.

META

Buscar organismos o entidades que puedan aportar ayuda a este proyecto.

FORMATO ID-12. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

Nombre De La Alternativa: Esta es la única alternativa para lograr las acciones propuestas en cuanto a la potabilización del agua en la planta de tratamiento del municipio de LLORO.

Descripción: Proyectos de rehabilitación, optimización y/o ampliación de sistemas de tratamiento de aguas potables municipales, cuya finalidad es la de optimizar los procesos de tratamiento, que no requieren Licencia Ambiental, pero pueden incluir:

- a. Permiso de vertimiento y planes de cumplimiento (decreto 1594/84)
- b. Otros requerimientos ambientales (ocupación de cauces, aprovechamiento forestal, concesión de agua.

DESCRIPCION DE METAS FISICAS DE LA ALTERNATIVA

1. Consecución de la planta de tratamiento de agua para implementar el proyecto; debido a que esta es una planta de gama baja según la norma técnica de saneamiento básico. RAS.
2. Construcción y adecuación de obras de infraestructura para el servicio de

agua potable en el municipio como: tanque floculador, sedimentador, canal de parshall, tanque dosificador de sulfato de aluminio.

3 Rehabilitación, optimización y/o ampliación de sistema de tratamiento de agua potable municipal incluyendo el producto final que debe de ser de buena calidad para el consumidor.

4. Implementación y distribución del sistema de tratamiento de agua potable para la comunidad de la cabecera municipal del municipio de Lloró.

MODULO 2. PREPARACIÓN DEL PROYECTO.

FORMATO PE-01. ESTUDIO LEGAL.

Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento-RAS. Resolución 1096 del 17 de noviembre de 2.000 por la cual se adopta el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico (RAS); en el cual se sugiere los aspectos técnicos que deben acatarse en la planeación, el diseño, ejecución y supervisión de un proyecto, en cada uno de los dos sectores anteriormente mencionados.

Ley 152 por la cual se establece la ley orgánica del plan de desarrollo, la cual tiene como propósito establecer los procedimientos y mecanismos para la elaboración, aprobación, ejecución, seguimiento, evaluación y control de los planes de desarrollo.

Ley 80 que tiene por objeto disponer las reglas y principios que rigen los contratos de las entidades estatales.

FORMATO PE-02. ESTUDIO DE DEMANDA Y OFERTA.

Indicador	DESCRIPCION	UNIDAD DE MEDIDA	VALOR ACTUAL	META	PERIODO
Cobertura de servicio de tratamiento de agua potable	2.750 de personas o viviendas cubiertas o de agua potable tratado sobre el total por 100	%	Cero "0". si no existe ETAP	La identifica da después de implemen tado el proyecto	Durante el Periodo de diseño del proyecto o de la etapa que se implemen tará
Nivel de consumo de agua por parte de los individuos	$Q_d = c + x_1 \text{ precio} + x_2$ Representatividad de la población sujeta al estudio del problema.	L/D	Cero "0" si no existe ETAP	La identifica da después de implemen tado el proyecto	Durante el Periodo de diseño del proyecto o de la etapa que se implemen tará
Caudal requerido dependiendo número de habitantes	$Q = V \times S$ v= es la velocidad del caudal s = es la sección de la tubería	$\frac{m^3}{s}$	Cero "0" si no existe ETAP	La identifica da después de implemen tado el proyecto	Durante el Periodo de diseño del proyecto o de la etapa que se implemen tará

FORMATO PE-03 LOCALIZACION DE LA ALTERNATIVA DE SOLUCION

Región:	Occidente.
Departamento:	Chocó.
Municipio :	Lloró.
Clase del centro de poblado:	CM-Cabecera
Resguardo indígena:	Guadualito
Localización:	Zona occidental del Dpto. del Chocó. “Las cruces parte baja”
Factores analizados:	-Problemática planta de tratamiento de agua potable según el RAS , -número de habitantes y viviendas.

FORMATO PE-04 ESTUDIO TECNICO

Insumos	Descripción
Ingeniero automatización y control. Tecnólogo en electrónica Tecnólogo en electrónica	Se refiere a las personas con estudios técnicos o algún grado de capacitación sobre el proceso de tratamiento de agua potable en un acueducto; sin embargo la planta actual que opera en el municipio de Lloró no cuenta con este tipo de trabajadores. Esta es la mano de obra que se necesita para la implementación del modelo de automatización de la planta de tratamiento de agua del municipio LLORO-CHOCO. Para este tipo de mano de obra se contara con 3 profesionales.
Mano de obra no calificada	Se refiere a personas que no tengan conocimiento alguno del proceso de potabilización del agua; actualmente la planta de tratamiento de agua del municipio de Lloro consta de este tipo de trabajadores el cual es un administrador que solamente tiene conocimiento eléctrico. Para esto se puede contar con trabajadores para construcción de obras civiles y eléctricas aproximadamente 10 trabajadores.
Transporte	Primeramente la bocatoma del agua es hecha desde la quebrada chado. El transporte actual del agua es por medio de tuberías terrestres que sale del tanque de distribución y llegan a las viviendas del municipio.

Materiales	La planta debe de contar con materiales de instrumentación y control; como Plc, válvulas, transmisor de flujo, swith de nivel, motobomba, equipo de pruebas de jarras, ph metro, Turbidímetro con materiales eléctricos y una adecuada infraestructura como lo dicta la normatividad RAS.
servicio domiciliario	Como objetivo primordial de este proyecto es mejorar el proceso de potabilización de agua para que sea apto para el consumo humano y posterior a esto prestar un servicio permanente de agua potable en el municipio. Esto aplica debido a que el servicio no es prestado las 24 horas del día.
Maquinaria y equipos	Es la parte esencial con la que debe contar para un adecuado proceso de potabilización de agua.
Mantenimientos	Deben de estar presentes en la planta de tratamiento estos se ven aplicados en la infraestructura como lo son los tanques de distribución y almacenamiento más que todo y en los equipos eléctricos como switch de nivel, filtro, trasmisores de flujo , motobomba y de instrumentación y control como plc , ph metro, equipo para prueba de jarras, Turbidímetro.

FORMATO PE-05 DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Nivel y estado actual de los servicios

Población actual: 2750 habitantes

Nro. actual de viviendas: no conocido

Acueducto Alcantarillado.

a. **Población actual con servicio:** 2750 habitantes.

b. **Continuidad = Prestación servicio x 100:** 8.33%
24 horas día

- c. **Tratamiento (SI/NO):** NO
- d. **Control de calidad de agua (SI/NO):** NO
- e. **Dependencia de energía (SI/NO):** SI

Funcionamiento de la planta actual del municipio de LLORO-CHCO. En el municipio de Lloro, el servicio de acueducto se presta parcialmente al 99,6%, del casco urbano del municipio y esta segmentado en dos partes, una corresponde a la parte alta y la otra a la parte baja de pueblo. Actualmente la ETAP está compuesta por dos tanques de concreto de una capacidad promedio de 140 m³ y una caseta de tratamiento, la cual en su interior cuenta con dos bombas, un tanque plástico de 250 L para el almacenamiento de cloro y un dosificador de cloro. Las instalaciones eléctricas son alimentadas por un transformador con una capacidad de 30 KVA.

Actualmente la parte alta del pueblo se abastece de agua solamente una o dos veces al día, con una duración promedio de una hora cada vez.

FORMATO PE-06 DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA

Análisis del acueducto por componentes si existe:

Componente	Existe Si/no	Funcion a si/no	capacida d actual	Estado y observaciones
Captación	SI	SI	9 Litros/Segundo.	Toma de agua quebrada Chado no es suficiente para el abastecimiento de la población del municipio ya que solo opera por 2 horas, 6 a 7 de la mañana y de 5 a 6 de la tarde noche. También se pudo determinar que el caudal de operación no es muy constante, ya que en

				ocasiones desciende hasta 2 Litros por segundo; esto como consecuencia de un mal estudio de determinación de la zona de captación.
Tanque desarenador.	NO	NO	15.000 Litros	Componente destinado a la remoción de las arenas y sólidos que están en suspensión en el agua, mediante un proceso de sedimentación mecánica. Este debe ser construido a continuación de la obra de captación y debe ser de dos módulos que operen de forma independiente y de la misma capacidad, (bypass) para facilitar su mantenimiento sin suspender la aducción hacia la ETAP.
Canal de mezcla rápida	NO	NO	3.200 Litros	Determina la agitación y tiempo de retención de masa de agua. Debe de construirse a la entrada de la ETAP, para la determinación del caudal y la mezcla rápida de los productos químicos.
Tanque de floculación	NO	NO	132.000 Litros.	En este tanque con la adición de floculantes se logra que las partículas en suspensión se

				aglomeren en microflóculos y después en flóculos más grandes que tienden a depositarse en el fondo del tanque construido con unas características especiales para este fin.
Tanque de sedimentación	SI	SI	141.570 Litros.	En este tanque, se separa el material sólido suspendido de la corriente de agua en virtud de la acción de la gravedad que obliga la caída de partículas hacia el fondo del tanque construido especialmente para tal fin. Este tanque debe reacondicionarse y adaptarse al rediseño del nuevo sistema.
Tanque de filtración	SI	NO	133.120 Litros.	En este tanque el agua sedimentada se hace pasar por encima de un medio filtrante o material poroso, que puede ser arena o arena con carbón activo. Por gravedad el agua pasa a través de la arena la cual retiene las impurezas o turbiedad residual que queda en la etapa de sedimentación. Este tanque se encuentra en un estado de abandono; debe

				limpiarse, y reacondicionarse a la forma propia de un tanque de filtración.
Tanque de desinfección con cloro y almacenamiento.	SI	SI	123.400 Litros.	Este tanque destinado para la desinfección final del agua a través de la dosificación de cloro y para el almacenamiento del agua. Este tanque se encuentra en una condición muy regular; debe hacerse mantenimiento y adaptarlo al rediseño del sistema.
Dos moto Bombas	SI	SI	13.4 Kilovatio	Estas moto bombas, destinadas para bombeo del agua desde el tanque de sedimentación al tanque de filtración, que se encuentra en un nivel por encima de aproximadamente 3 metros; se encuentran en condiciones de funcionamiento muy regulares, y actualmente solo funciona una de ellas. Se les debe hacer un mantenimiento correctivo, y adicionalmente a la salida de la línea de conducción debe instalarse una válvula cheque.

4 Válvulas manuales	SI	SI	250 PSI	A pesar de que son válvulas manuales estas están en muy Mal estado debido a que su funcionamiento es casi nulo no realizan el control de flujo de agua.
Tanque para el almacenamiento del cloro.	SI	SI	250 Litros	Este tanque es de material plástico, y se utiliza para almacenar el cloro que se le dosifica al agua.
Transformador eléctrico.	SI	SI	30 kilovatios	Este transformador eléctrico alimenta todas las conexiones eléctricas y cuenta con la suficiente capacidad para alimentar todos los circuitos, maquinarias y equipos de la ETAP.

FORMATO PE-07 COMPONENTES DE LA INFRAESTRUCTURA Y EQUIPOS PARA EL MODELO DE AUTOMATIZACION PROPUESTO PARA LA ETA.

EQUIPO	CANTIDAD	CARACTERISTICAS
PLC: el PLC es un dispositivo electrónico denominado Controlador Lógico Programable, utilizado en la automatización industrial.	1	HMI y PLC integrados Pantalla Gráfica Touchscreen 3.5” 24 entradas Digitales (4 HSC) 16 salidas digitales (2

<p>Funciona como unida de control, que permite predeterminar el comportamiento de la planta, para realizar su trabajo está provisto de una o varias entradas con las cuales se monitorea el valor deseado de las variables; y de una o varias salidas con las cuales se controlan los equipos de accionamientos, para mantener las variables en un valor deseado.</p>		<p>PWM) 2 entradas análogas 1 puertos seriales 1 puerto de expansión CsCAN 1 slot para microSD 1 Módulo Smartmod, que dispone de 8 entradas análogas de 4-20 mA. 2 Módulos Smartmod, que dispone de 4 salidas análogas de 4 – 20 mA.</p>
<p>Bomba dosificación de Hipoclorito de calcio</p>	<p>1</p>	<p>Para automatización por pulso, de 1-180 pulsos/min. Rango de capacidad: Graduable hasta 20 litros por hora @ 2 bar</p>
<p>Bomba dosificación de Sulfato de aluminio</p>	<p>1</p>	<p>Para automatización por pulso, de 1-180 pulsos/min. Rango de capacidad: Graduable hasta 20 litros por hora @ 2 bar</p>
<p>Bomba dosificación de Carbonato de sodio</p>	<p>1</p>	<p>Para automatización por pulso, de 1-180 pulsos/min. Rango de capacidad: Graduable hasta 20 litros por hora @ 2 bar</p>

Equipo para Prueba de jarras	1	5 jarras, agitadores, buretas, pH-metro digital, y medidor de turbidez digital
pH-metro	1	Salida de 4-20mA (miliamperio)
Turbidímetro	1	(0-4000 NTU), color (0-500 cu)
Transmisor de flujo	1	Ultrasónico para intemperie
Transmisor de flujo	1	Placa orificio integrada
Medidor de concentración de Cl	1	cloro (0-20 ppm),
Computador	1	Intel Core 2 Duo 2.8 GHz RAM 4 GB Disco Duro 320 GB
Sw	4	2 Electrodo
Sw	1	3 Electrodo
Indicador visual	6	Lámparas
Software	1	SCADA
Borneras	74	Varios tipos
Acometidas	1	En general
Cableado	700	Varios calibres
Accionamiento de control para bombas	1	Manejado por switch de nivel
Anaqueles	1	120 cm X 80 cm
Cable U	3	Cable de control universal 5m para conectar a la bomba y el controlador
Tanque desarenador	1	Para el decantacion de las partículas pesadas y evitar

		obstrucción en la línea de aducción.
Canal de parshall	1	Canal para realizar la medida del flujo de agua cruda
Tanque floculador	1	Tanque para concentración de flóculos.
Tanque de filtración	1	Para separar las partículas suspendidas en el agua al hacerse pasar por un material poroso como la arena o la grava.

FORMATO PE-08 COSTOS DE LOS COMPONENTES DEL PROYECTO

COMPONENTES	COSTOS PESOS(\$)
<u>Instrumentación y control</u>	<u>96.339.904,53</u>
<u>Construcción de infraestructura</u>	<u>454.701.096</u>
<u>Mano de obra calificada</u>	<u>100.000.000</u>
<u>Mano de obra no calificada</u>	<u>50.000.000</u>
<u>TOTAL</u>	<u>701.040.000</u>

Fuente: cálculos del autor

Instrumentación y control: costo total de los equipos a utilizar para la implementación en la planta de tratamiento de agua.

Construcción de infraestructura: aquí se va a realizar toda la construcción de los tanques faltantes para una adecuada potabilización del agua.

Mano de obra calificada: costo que cobrarán los que van a implementar la automatización en el proyecto, se tomó esta cifra por posibles imprevistos.

Mano de obra no calificada: Personas contratadas para hacer uso de sus servicios en el proyecto a la hora de implementarlo.

FORMATO PE-09 BENEFICIOS DEL PROYECTO

PARTE A: DESCRIPCION

La planta de tratamiento de agua del municipio de LLORO va a contar con un amplio acceso para sus habitantes; la cual va a generar agua potable a toda la comunidad del municipio de lloro en su cabecera municipal .

BENEFICIOS:

- ✓ combatir enfermedades
- ✓ bajar o mantener el peso
- ✓ hidratar y abrillantar la piel
- ✓ combatir la fatiga

FORMATO PE-09 CUANTIFICACION DEL PROYECTO

PARTE B: CUANTIFICACION DE L POBLACION NECESIDAD

BIEN O SERVICIO: Agua potable

UNIDAD DE MEDIDA: 2750 personas

El efecto es que se pretende contar con una planta de tratamiento adecuado que pueda abastecer a todo el municipio para que el individuo o persona pueda consumir un bien o servicio adecuado que no le afecte en su salud sino que le favorezca en su digestión en el organismo.

El agua es tal vez el bien o servicio más importante para la vida. Es posible sobrevivir mucho tiempo sin comida, pero solamente unos cuantos días sin este líquido vital.

Sin agua no hay vida y con poca hay baja calidad de vida. Es una realidad que la cantidad del vital líquido ingerido es proporcional a la salud de las personas. Si piensa que los efectos positivos del agua están sobrevaluados o simplemente no los conoce, siga leyendo y descubra todos los beneficios que proporciona.

FORMATO PE-10 DESCRIPCION Y VALORACION DE LOS COSTOS DE LA ALTERNATIVA EN MILES DE PESOS

FACTOR DE VALOR PRESENTE	1	0,892	0,797	0,718	0,635	0,567
Rubros	Inversión	Manten.	Manten.	Manten.	Manten.	Manten.
AÑOS	2010	2011	2012	2013	2014	2015
MATERIALES PARA LA INFRAEST.	363.660	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
MAQUINARIA Y EQUIPO	96.339	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
MANO DE OBRA CALIFICADA	100.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
MANO DE OBRA NO CALIFICADA	50.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
OTROS	15.000	500	500	500	500	500
Subtotal	627.009	20.511	20.512	20.513	20.514	20.515
Subtotal actual	627.009	18.296	16.348	14.728	13.026	11.632
Total actual	701.040					

FORMATO PE-11 DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

1) TOTAL OPERACIÓN EN VALOR PRESENTE:\$180.000.000
2) FACTOR COSTO ANUAL EQUIVALENTE:\$800,000
3) COSTO ANUAL EQUIVALENTE DEL PROYECTO: \$1,000,000
4) PROMEDIO ANUAL DE PERSONAS O VIVIENDAS BENEFICIADAS - INDIQUE LA UNIDAD QUE UTILICE : 2750 Personas
5) INVERSIÓN PROMEDIO POR PERSONA O VIVIENDA BENEFICIADA <u>6858 pesos/vivienda</u> (\$/ UNIDAD)
6) CANTIDADES PRODUCIDAS ANUALMENTE (PROMEDIO): 55,857,600
7) SI EL PROYECTO ES SOLO DE AUMENTO EN LA CAPACIDAD DE ACUEDUCTO: si COSTO POR AUMENTO DE CAPACIDAD \$80,000,000 (TOTAL PROYECTO EN V.P./ AUMENTO DE CAPACIDAD)
\$ <u>701,040,000</u>

MODULO 3 FINANCIACION DEL PROYECTO

Las fuentes de financiación del proyecto son en sus diferentes porcentajes aportes de la nación, aportes de la gobernación en donde esté ubicado el problema, aportes del municipio con el mecanismo de participación ciudadana.

En cuanto al orden nacional, este nivel a través del CONPES O Consejos Territoriales de Planeación, se puede lograr recursos cofinanciado o garantías con entes nacionales o internacionales que financien gran parte del proyecto. El Gobierno Nacional transfiere recursos para el financiamiento de las inversiones y subsidios en el sector de agua potable y saneamiento básico a través de los recursos del Sistema General de Participaciones.

Durante el proceso de estructuración o ejecución del contrato de operación, se podrán gestionar recursos adicionales a través del Fondo Nacional de Regalías, o aportes de la Nación conforme al Plan Nacional de Inversiones contemplado en el Plan Nacional de Desarrollo, que permitirán ajustar las metas de inversión e indicadores técnicos definidos inicialmente.

FORMATO FS-02: SOSTENIBILIDAD DEL PROYECTO

Indique, si se presentan, los principales problemas que puedan existir para que el proyecto sea ejecutable

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none">• Que se garantice la financiación del proyecto durante todo el tiempo de ejecución.• Que exista el compromiso y la voluntad de las Industrias participantes del Proyecto para implantar las alternativas que se plantearon para un debido proceso de potabilización de agua en el municipio de Lloró. |
| <ul style="list-style-type: none">• Que haya ética y transparencia para la implementación de este proyecto en beneficio de la comunidad. |
| <ul style="list-style-type: none">• Que no haya abuso de confianza entre amabas partes para implementación de este. |

5. CONCLUSIONES

- En base a la investigación de campo y al diagnóstico de las condiciones actuales de la ETAP del municipio de Lloró, se puede afirmar que el proceso de tratamiento de agua no cumple con las normas que regulan al sector de agua potable y saneamiento básico, y que el agua que se obtiene no es potable, por lo tanto no es apto para el consumo humano.
- Con las recomendaciones de reacondicionamiento y construcción de infraestructura, se minimiza el grado de contaminación del agua, ya que se tendría la infraestructura de las características propias de una ETAP y se daría un adecuado tratamiento al agua.
- Con la implementación del diseño del modelo de automatización se brindaría una muy buena calidad del agua luego del ciclo de tratamiento, y dada la escalabilidad del diseño, el personal operativo a cargo de la planta sería calificado y para su funcionamiento bastaría con tener dos personas.
- Al momento de solicitar las cotizaciones de los equipos de instrumentación a los proveedores, se evidencio que la respuesta hacia los particulares (estudiantes y/o investigadores), es muy demorada, tardándose de 3 a 4 meses, impactando de forma negativa en la ejecución del proyecto. También se evidencio que la respuesta hacia personas de un alto perfil y buen reconocimiento, se da en un lapso de tiempo de 15 días aproximadamente.
- Con la implementación del modelo, se garantiza que el tiempo de prestación del servicio de agua potable diario, se prestaría hasta 18 horas continuas, aumentando el tiempo de prestación del servicio de agua actual, en 16 horas.
- La calidad del agua potable depende de una acertada y buena identificación de las variables a controlar, como las son muy especialmente, la turbidez que básicamente se refleja en el color del agua (transparencia); el pH que se refleja en la acidez o alcalinidad del agua; y el nivel de concentración de cloro (cloro residual), que se refleja en el sabor y desinfección del agua. También depende de una correcta dosificación de los productos químicos que se le aplican al agua.

- La determinación de los equipos de instrumentación se hizo mediante la evaluación del costo – beneficio, cuya finalidad fue seleccionar equipos de muy bajo costo, pero de una muy buena funcionalidad, de características técnicas aceptables que se ajustan al diseño.
- La finalidad de este trabajo se cumple al realizar un diseño ajustado a las normas técnicas, a las necesidades de la ETAP tanto en infraestructura como en instrumentación, y al presupuesto disponible por parte del municipio. Este es un proyecto realizable de muy bajo costo que brinda una alternativa de solución muy acertada y económica al problema de falta de agua potable de aproximadamente 2750 habitantes de la cabecera municipal del municipio de Lloró.

6. RECOMENDACIONES

- Para garantizar mucho mas la continuidad de la prestación del servicio de acueducto, se recomienda la instalación de medidores de flujo en la red de distribución en las entradas de los hogares; y de esta forma fijar una tarifa y poder cobrar el consumo de agua mensualmente. Esto es indispensable para el auto-sostenimiento del acueducto.
- Se recomienda la realización de un estudio de ampliación de la bocatoma del acueducto, para que la captación de agua sea mayor y así de esta forma aumentar el caudal de operación de la planta de tratamiento, y de esta manera garantizar la continuidad del servicio de agua potable.
- Se recomienda la contratación de personal calificado para la realización de las actividades que tienen lugar en la ETAP, personal que tenga conocimiento sobre el proceso de tratamiento agua y personal con conocimientos en el área de la instrumentación y control, que pueda realizar las actividades a satisfacción.
- Se recomienda implementar un control automático de flujo a la entrada de la ETAP, con una válvula electrónica tipo mariposa con señal de control de 4 a 20 mA, para lograr que el funcionamiento del proceso se haga de manera más automática, eliminando la intervención manual del operario.
- Se recomienda la conformación de una junta de administración para que administre y coordine las tareas y funciones, tanto administrativas, técnicas y operativas del acueducto.

BIBLIOGRAFIA

BADILLO, Isabel Sánchez, Jhon. Libro Tesis De Grado Diseño De Automatización Para La Planta De Tratamiento De Agua Peñazul. Envigado.2006.38-40p.

BELLIDO JIMÉNEZ, Laura. Diseño De Un Sistema De Abastecimiento De Agua Para Una Comunidad Rural En Países En Vías De Desarrollo. Guatemala.2008.27-31p.

CANELO CAJINA, Mauricio Jose. Alternativas De Captación De Agua Para Uso Humano. Chile. 2006. 16p.

Epm. Planta De Tratamiento De Aguas Residuales San Fernando. Antioquia. 2000. 1p.

GONZALO, Rodrigo. Captación de Aguas Superficiales. Colombia. 2005. 1-3p.

GUEVARA, Sergio. Estabilidad De La Solución Del Cloro. Córdova. 2003.6p.

JIMÉNEZ, Julián. Aguas De Buga.2002. Buga. 2p.

KJOHNSON. Guía De Diseño Para Captación Del Agua de Lluvia.2002, pag3

MYNOR, Romero. Tratamientos Utilizados En Potabilización De Agua. Guatemala. 2008, 1-2p.

MURCIA CRUZ, Diana Carolina. Estudio De Optimización De La Planta De Tratamiento De Agua Potable Del Centro Vacacional Lago De Sol. Girardot.2008. 18-31p.

OSORIO NARVÁEZ, Juan. Diagnóstico De La Vulnerabilidad Física Y Funcional Del Sistema De Acueducto Y Alcantarillado De Santa Rosa De Cabal, Risaralda. Risaralda. 2002. 1p.

PALAU, Margarita. Nueva Normativa Sobre Agua De Consumo. España .2006.8p.

Reglamento Técnico Del Sector De Agua Potable Y Saneamiento Básico

RAS – 2000. 1-190p.

REIFF, F; WITT, V. Guía Para La Selección Y Aplicación De Tecnologías De Desinfección Del Agua Para Consumo Humano En Pueblos Pequeños Y Comunidades Rurales En América Latina Y El Caribe. 1995.12 pp.