

INTRODUCCION

El contar con un sistema de abastecimiento de agua es el sueño de muchas comunidades rurales y rurales dispersas en donde muchas veces tienen que caminar largas distancias para obtener el agua que necesitan para las labores domésticas y con frecuencia esa agua no cumple con los requisitos para el consumo humano.

La construcción de acueductos tiene un alto costo, principalmente cuando las condiciones del terreno son muy irregulares, las viviendas están muy dispersas o las fuentes de agua están muy lejos de la comunidad. Lamentablemente, esta alta inversión a veces se pierde por falta de recursos, pero también por desconocimiento de la importancia y la necesidad de cuidar y dar mantenimiento a todas y cada una de las piezas que componen el sistema de distribución desde el tanque de captación hasta los tubos o plumas en las viviendas.

En este trabajo se pretende realizar un análisis de lo que consiste el tratamiento del agua para consumo humano y los instrumentos necesarios para implementar un sistema de esta categoría.

Luego se diseña un sistema de mejoramiento en el acueducto del municipio de Barbosa – Antioquia, de acuerdo a los recursos económicos disponibles. El documento servirá de guía cuando se cuenten con más recursos para mejorar el sistema de tratamiento de agua potable.

1. DESCRIPCION DEL PROBLEMA

Actualmente en los acueductos rurales de Colombia se presenta un problema difícil de solucionar, de alto costo para la administración de las juntas encargadas de estos. En el tipo de planta compacta que se ha implementado en una amplia zona rural del departamento de Antioquia, se observa que el agua con gran cantidad de sedimentos afectan todas las condiciones de la planta.

En la zona rural del municipio de Barbosa – Antioquia, específicamente en la vereda hatillo, se encuentra un acueducto que beneficia a 700 domicilios y aproximadamente 2300 personas, se analizaron las causas de los daños a los elementos encargados de la descontaminación, por lo que se buscó una forma de reducir los costos y de los tanques filtrantes.

Los tanques encargados del tratamiento están compuestos por gran cantidad de lecho filtrante y placas, estos se infectan con bacterias peligrosas para la salud humana, por ende son difíciles de descontaminar (De 3 a 5 días puede demorar su limpieza), en algunos casos la contaminación del lecho filtrante y de las placas reducen su vida útil o sencillamente es necesario su desecho, lo que se traduce en altos costos para el acueducto.

Estos acueductos verdales en su mayoría se encuentran alejados y no cuentan con un fontanero las 24 horas, por ende, cuando llueve durante las noches, el encargado debe dirigirse al acueducto para impedir la entrada principal ya que esta válvula es totalmente manual y así evitar sedimentos provenientes de la quebrada.

2. JUSTIFICACION

Según el diagnóstico del desempeño de los acueductos y alcantarillados en Colombia para el área rural (zona que nos interesa en el presente trabajo), la cobertura nacional es del 40% para el agua, el 20% para los alcantarillados, el 60% de la población rural no cuenta con infraestructura en acueducto que facilite el acceso al preciado líquido y deben realizar grandes esfuerzos para lograr llevar hasta sus casas este elemento vital.

Los acueductos rurales del Departamento de Antioquia buscan satisfacer la necesidad de suministrar agua potable, para lo cual las entidades públicas y autoridades ambientales competentes enmarcadas por la normatividad legal vigente y territorial, deben articular esfuerzos que conlleven acciones para el cumplimiento de objetivos que contribuyan a mejorar la calidad de vida de sus comunidades.

Para la población Colombiana, es importante la generación de este tipo de proyectos, debido al desconocimiento que se tiene en cuanto al estado de los acueductos rurales, en las temáticas específicas del estado ambiental de las microcuencas, el estado actual de sus infraestructuras, calidad en la prestación del servicio y el nivel de organización de cada acueducto. Esto ha conllevado a que históricamente la inversión de los recursos se efectuó de una manera dispersa, de acuerdo con las necesidades del momento, enfocadas sobre todo a actividades de tipo correctivo, que no genera sostenibilidad en las inversiones.

Este trabajo se convierte entonces en una herramienta de planeación fundamental para que el enfoque de los recursos por parte del municipio en el sector rural se muestre de una manera coherente, que genere impactos positivos en las comunidades rurales del municipio y que se convierta en un instrumento claro para la formulación de los proyectos con la pertinencia necesaria para inscribirlos en el plan departamental del agua.

3. OBJETIVOS

3.1 General

Diseñar un equipo capaz de evitar entrada de sólidos al acueducto Hatillo-Barbosa actuando directamente sobre la entrada principal por medio de circuito electrónico conectado por sensores y electroválvulas.

3.2 Específicos

- Investigar sobre las técnicas usadas para tratar el agua en las poblaciones rurales en Antioquia y en Colombia.
- Definir las especificaciones del sistema de control del acueducto de la vereda Hatillo – Barbosa del departamento de Antioquia.
- Seleccionar los instrumentos de medición y control que se utilizaran en el desarrollo del sistema de medición y control.
- Implementar el sistema de medición y control.
- Hacer pruebas para verificar el funcionamiento del sistema y evaluar que otras técnicas de monitoreo y de control se le puede hacer al acueducto para garantizar el agua limpia a la población.

4. MARCO TEORICO

4.1 Agua potable

Lo mismo animales que plantas dependen directamente del agua. El medio externo que rodea los vegetales y animales se halla constituido indistintamente por aire o agua, pero internamente siempre están formados por agua.

El agua es el elemento que transporta las sustancias nutritivas: oxígeno, anhídrido carbónico, sales, detritos y también en calor. Aunque fueron numerosos los seres vivientes que se desplazaron desde el agua a la tierra en épocas ya muy remotas, todos ellos han permanecido ligados al agua que constituye su medio interno.

La distribución del agua en los continentes es muy desigual. Los desiertos constituyen un extremo de la escala y los bosques tropicales el otro. Las plantas y los animales que habitan en las regiones desérticas se ven forzados a retener el agua en su organismo. Los animales de dichas zonas suelen subsistir con el agua almacenada en los gruesos tallos y hojas de los vegetales que allí crecen o gastando el agua almacenada en el interior de su organismo.

En las regiones templadas el hombre se ha servido del agua para emplearla en la agricultura y para el abastecimiento de las grandes ciudades. Los ríos a los que van a parar los residuos de los núcleos urbanizados muy poblados suelen tener las aguas contaminadas lo que provoca la muerte de los animales y vegetales que en ellas habitan.

El suministro de agua purificada bien para el consumo humano o para ser utilizada en las industrias es una de las dificultades más graves con que se enfrenta el hombre en la actualidad. Al aumentar la población hoy, se debe avanzar en estudios para mejorar los métodos técnicos y el nivel de vida acrecerá la necesidad de agua volviéndose el problema cada vez más difícil de resolver. Allí nacerán las guerras del futuro.

4.2 Procesos de tratamiento de agua

La fuente de agua determina su calidad inherente.

Las sustancias no deseadas contenidas en el agua natural se separan o se transforman en sustancias aceptables o ambas cosas.

La mayor parte de los procesos de tratamiento de aguas originan cambios en la concentración de un compuesto específico.

Debido a lo anterior es importante realizar ensayos de jarras que permitan mediante mediciones de las características físicas, químicas del agua optimizar las variables químicas de los diferentes procesos unitarios para asegurar la calidad final.

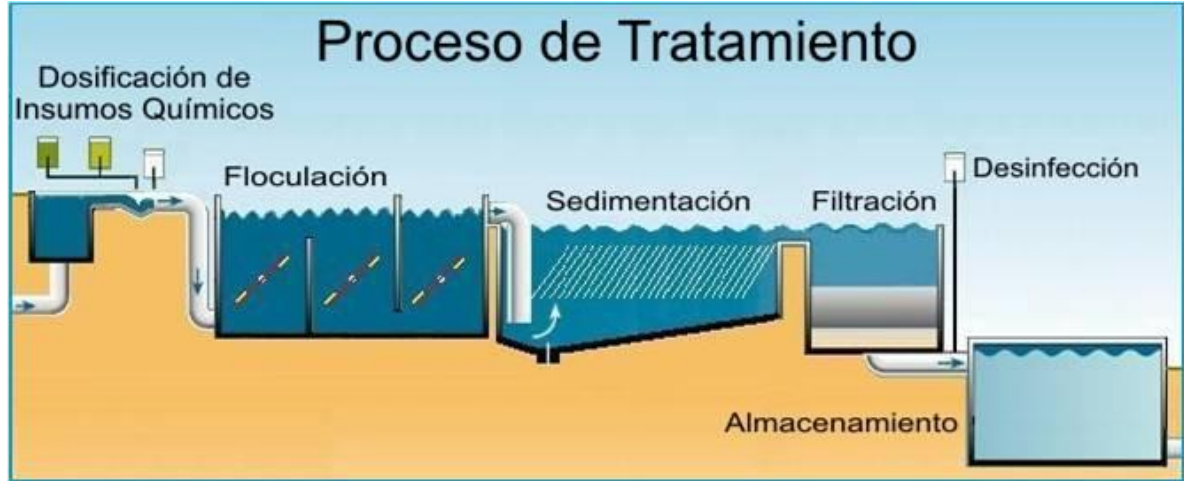
Con este ensayo, podemos modificar: la turbiedad, el color, el PH, bacterias, algas y otros compuestos en estado coloidal. Esta prueba consiste en poner varias muestras de agua natural en jarras y agitarlas simulando los procesos de la planta.

A estas jarras se le agregan diferentes ppm de los procesos químicos utilizados en el proceso, se deja un apropiado tiempo de mezcla rápida, formación del Floc. Determinando cuales fueron los primeros en flocular y luego dejando un tiempo de sedimentación adecuado.

A las muestras se les analizan los parámetros de: PH, turbiedad y color para determinar la dosis optima de los reactivos. En algunos casos los resultados se evalúan después de pasar el clarificado por un filtro piloto o de membrana de 0,45 micras, teniendo en cuenta que para el análisis de orgánicos este material debe ser de fibra de nilón.

El objetivo es determinar la dosis que produce la más rápida desestabilización de las partículas coloidales y que permita la formación de un floc pesado y compacto, que pueda ser fácilmente sedimentado y que el microfloc que pueda quedar en el sobrenadante no se rompa al pasar por el filtro.

Figura 1. Esquema del proceso de tratamiento del agua



Fuente: <http://aguasdetorredelcampo.com/funcionamiento-de-una-etap>

4.2.1 Determinación del potencial "ZETA" (PZ) Optimo

El objetivo es determinar el PZ óptimo de coagulación dependiendo de la calidad de agua natural. Se colocan las muestras de agua natural en las jarras y se adicionas el coagulante en diferentes dosis, agitar en mezcla rápida durante el tiempo de coagulación optimo luego, tomar una muestra de aproximadamente 100 mililitros y llevarla a la z - metro, para medir PZ en milivoltios, junto con PH y continuar el ensayo adicionando los otros reactivos. (en el caso de EEPP de Medellín, se adiciona polímero aniónico si se considera necesario). Dejar sedimentar 10 minutos y analizar turbiedad, color y aluminio residual. Graficar: turbiedad, aluminio residual, color y PZ Vs dosis de coagulante determinando la mejor jarra para definir el PZ óptimo.

4.2.2 Eficiencia de los ayudantes de floculación

El objetivo de este ensayo es comparar la eficiencia en la remoción de turbiedad y color de varios polielectrolitos para escoger el que mejor se adapte a las características del agua que se quiere analizar.

A cada jarra se le debe adicionar la dosis de coagulante previamente seleccionada, variando la dosis del ayudante de floculación entre 0.01 y 0.05mg/l según las recomendaciones del fabricante, excepto en la primera jarra la cual sirve de punto de referencia.

4.2.3 Potencial ZETA.

Cuando una partícula se mueve en un líquido, tiene lugar un corte en un plano exterior a los iones fijos, es decir, solamente se mueven los iones fijos con la partícula existiendo un movimiento relativo entre la partícula y el fluido, con lo que la carga superficial sólo se neutralizará parcialmente.

La partícula se moverá en el líquido como si tuviera un potencial equivalente al potencial del plano de desplazamiento o de cizalla, conocido como potencial electrocinético o zeta (PZ) la magnitud del potencial Z. Depende de la superficie la concentración y la carga transportada por los contraiones.

Como consecuencia de que la carga superficial solo se neutraliza parcialmente, la partícula se moverá hacia el electrodo de signo opuesto bajo la acción de un campo eléctrico (Electroforesis), lo cual se puede aprovechar para determinar el potencial PZ. Por medida de una propiedad electrocinética tal como movilidad electroforética o potencial de corriente.

Tales medidas determinan la magnitud de las fuerzas repulsivas y por lo tanto la estabilidad de las suspensiones, cómo se comportan los sistemas y para optimizar las dosis de sales coagulante, pero tienen que ser usadas con precaución ya que por ejemplo, ciertos agentes de la superficie pueden estabilizar una suspensión.

Según la teoría química, los coloides del agua, que son partículas con una estructura definida y con una carga neta negativa distribuida en su superficie, interaccionan químicamente con los productos de hidrólisis (también cargados pero positivamente) del coagulante, traducándose el proceso en la precipitación de compuestos insolubles.

En el orden práctico casi todos los coloidales del agua son electronegativos con un valor de potencial PZ. Comprendido entre -14 mV y 30mV.

4.2.4 La coagulación

Es el proceso de desestabilización química de Partículas coloidales realizadas por adicción de un coagulante al agua el cual neutraliza las cargas responsables de la estabilidad de las partículas cargadas que generan fuerzas de repulsión superficial las cuales están impidiendo la sedimentación por gravedad en tiempos cortos (de 0.5 a 3 horas) de acuerdo al tamaño y naturaleza del coloide esta partícula puede demorar 100 años para sedimentar naturalmente por la acción de la gravedad.

4.2.5 Floculación

Es el proceso hidrodinámico en el que se efectúan las colisiones de partículas desestabilizadas favoreciendo la agregación (cohesión) entre ellas, logrando formar aglomerados de partículas coloidales que unidas entre sí alcanzan un peso que las hace sedimentables por gravedad.

De acuerdo con las reglas Chulze-Hardy de que la velocidad aumenta la valencia los floculantes inorgánicos más empleados son:

- Sales de aluminio. (Sulfatos y cloruros ferrosos y férricos, etc.).
- Sales (sulfatos) y óxidos de calcio.
- Sales de magnesio.
- Salen de zinc.
- Acido sulfúrico.
- Fosfatos.

Los floculantes sintéticos son polímeros lineales de elevado peso molecular, solubles en agua efectivos generalmente en concentraciones muy pequeñas y poseen grupos activos distribuidos a lo largo de sus cadenas, que tiene gran afinidad por las superficies sólidas. El principal mecanismo de floculación de estos es la formación de puentes o enlaces entre los flocs.

La principal sal de aluminio usada es el sulfato de aluminio líquido o sólido. El intervalo de acción frente al pH. , En términos de la solubilidad del hidróxido metálico formado indica que el óptimo se sitúa entre 6 y 7.5 unidades de pH. La reacción teórica producida por el sulfato en el agua es

4.2.6 La sedimentación

Es la operación consistente en separar de una suspensión un fluido claro, que sobrenada la superficie, y un lodo con una concentración elevada de materias sólidas que se depositan por efecto gravitacional y por tener peso específico mayor que el fluido. La sedimentación se realiza en unidades o reactores en los cuales teóricamente, la masa líquida se traslada de un punto a otro con movimiento uniforme y velocidad constante.

Las partículas aglomerables se obstaculizan mediante la sedimentación antes de unirse, una vez lograda la unión ganan peso y se precipitan a velocidad creciente en el tiempo.

El principal parámetro que influye en la eficiencia remocional de una unidad de sedimentación es la carga superficial, la cual constituye la velocidad crítica de sedimentación.

4.2.7 La filtración

Su objetivo es la remoción de sólidos coloidales y suspendidos contenidos en el agua mediante su flujo a través de lechos porosos de partículas sólidas para realizar a adherencia y posterior evacuación de las partículas a remover.

Un filtro se colmata a medida que su lecho se carga de materias retenidas resultando un efluente no aceptable por lo cual, se debe lavar con agua en contracorriente de filtración. Caso filtro de las plantas del Ayurá EEPP. Medellín y siendo removido el lecho filtrante por la inyección del aire a presión.

Si el lavado es deficiente se pueden formar bolas de lodo y grietas. El funcionamiento de un filtro debe estudiarse desde los puntos de vista de filtración y lavado. Los filtros de la planta Ayurá son compuestos por antracita en un 90% aproximadamente y 10% de arena. Que supuestamente está en la parte del fondo rodeando las toberas, por las cuales pasa el agua al falso fondo y de allí a los sifones en donde se realiza la función del control de la carrera de filtración, de allí el agua pasa al tanque de lavado en donde se le agrega el cloro.

4.2.8 La cloración

El cloro es un elemento halógeno, no metálico, no se encuentra libre en la naturaleza, es un componente importante de minerales hálito (sal de rocas o cloruro sódico) silvita (cloruro potásico) y carnalita, y un cloruro en el agua de mar.

En estado líquido es de color amarillo o ámbar claro, olor irritante, muy baja conductividad eléctrica, soluble en cloruros y alcoholes. Es una agente oxidante extremadamente fuerte, ligeramente soluble en agua fría. Cuando se adiciona cloro al agua se forma una mezcla de ácido hipocloroso (HOCl) y ácido clorhídrico. $Cl_2 + H_2O = HOCl + HCl$ (H⁺⁺C⁻).

Esta reacción tiene lugar en unos cuantos segundos a condiciones de presión y temperatura ambientes.

Se tolera solamente 1 p.p.m. de cloro gaseoso en el aire.

El cloro se aplica al agua filtrada para eliminarle los microorganismos patógenos aún presentes en ella.

Entre ellos el bacilo de Cook causante de la tuberculosis. Se busca que el residual de cloro en el último tanque servido por la planta sea al por menos 0.05 p.p.m. de cloro. El cloro libre se busca que sea de 1 a 1.3 p.p.m. en la planta y el cloro combinado de 0.05 a 0.08 p.p.m. al cloro que existe en forma de ácido hipocloroso y de ion hipoclorito se le denomina cloro libre, la suma del cloro libre y el combinado es el cloro total.

Otra forma de oxidar la materia orgánica del agua filtrada es por medio del ozono pero es un proceso caro, difícil de manejar y el ozono es muy inestable. Por ello en Colombia se prefiere manejar este parámetro con cloro gaseoso.

4.2.9 Alcalinización Secundaria

Al agua filtrada y clorada se le agrega la cantidad adecuada de óxido de calcio (CaO) para aumentarle el pH (más o menos entre 7.5 a 8.5) con el fin de formar una película de carbonato internamente en la tubería de conducción del agua y así evitar la corrosión y la incrustación de la red y para favorecer muchos de los usos del agua en la industria. Siendo además útil para prevenir la acidez estomacal.

4.3 Pruebas de laboratorio en el proceso de purificación de agua

El agua se debe controlar horariamente para asegurar la calidad contratada con la ciudad y prevenir riesgos contra la comunidad y el medio ambiente, para ello cada planta tiene un laboratorio en donde realiza los análisis de: turbiedad, color, pH. , Alcalinidad, cloruros, dureza, demandas de permanganato y carbón activado, demanda de peróxido de hidrógeno o permanganato de potasio (para oxidar la materia orgánica), polimeración del agua y control del PZ y cloración.

Figura 2. Ejemplo de laboratorio para hacer las pruebas



Fuente: Modulo de laboratorio de la Universidad Nacional de Colombia

Allí se toman unas muestras para ser analizadas en el laboratorio de calidad y control el cual mide a su vez muestras tomadas en diferentes puntos de la red servida en la ciudad.

4.3.1 Desalinización

También desalación, proceso que consiste en eliminar el componente salino del agua. Su aplicación fundamental es la producción de agua potable a partir de agua de mar o de agua continental salobre.

La reducción de la salinidad del agua se puede realizar por diversos métodos: congelación, destilación clásica, ósmosis y sistemas basados en el intercambio de iones (electrodialisis).

La falta de abastecimiento suficiente de agua dulce en muchos países, junto con la existencia de reservas enormes de agua de mar y salobre, ha conducido a un desarrollo progresivo de las técnicas de desalinización.

Desde hace un siglo se realiza la desalación del agua de mar en los navíos, y en la actualidad hay muchas instalaciones terrestres, aunque el rendimiento producido por el aprovechamiento tradicional del agua dulce sigue siendo mayor; sin embargo, todavía se continúa investigando en nuevas técnicas o en el perfeccionamiento de las ya utilizadas. En Colombia se utiliza en las Islas de San Andrés y Providencia.

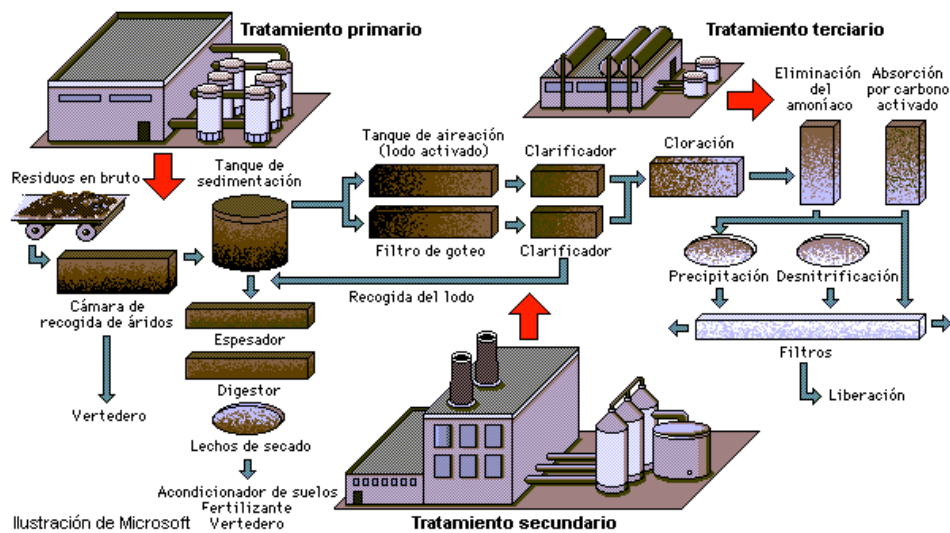
4.4 Tratamiento de aguas residuales

Hace aproximadamente 14 años EPPP de Medellín inició un plan piloto de tratamiento de aguas residuales del municipio del Retiro, para luego hacer el montaje de las plantas necesarias para el tratamiento de dichas aguas que contaminan el río Medellín.

Se montaron dos sistemas para el tratamiento de las aguas servidas: sistema de aireación completa y sistema de aireación extendida.

A los dos sistemas les llega el agua contaminada después de pasar por una cámara de cribado y elevada por una bomba de tornillo sin fin y ser desarenada.

Figura 3. Tratamiento de aguas residuales



Fuente: <http://tratamientodeaguasresiduales.net/tipos/>

En estos reactores se produce un floc por la acción de la DBO (demanda biológica de oxígeno) que es llevado a unos clarificadores devolviéndose un 10% a los reactores para mantener vivo el sistema ya que se trabaja con lodos con lodos activados.

De estos clarificadores es retirado el lodo cuando se les hace una curva de lodos totales y nos muestra su necesidad. El agua clarificada pasa a un tanque laberinto en donde acaba de sedimentar y se puede cloral para ser devuelta al río Pantanillo en el municipio del Retiro.

Cuando se debe eliminar lodos estos son llevados a un espesador durante varias horas y luego bombeados a los lechos de secado (de arena) en donde son expuestos al sol. (En caso de lluvia y durante la noche se cubren con un techo corredizo) este lodo cuando empieza a secar debe ser rallado para agilizar su recogida posterior de allí se llevan a un relleno sanitario en donde se mezclan con tierra y se tapan. Si el lecho despide un olor muy fuerte se rocía con cal viva.

Cuando el agua está en los reactores se efectúa una DBO, este parámetro expresa la cantidad de oxígeno necesaria para la destrucción o transformación de las materias orgánicas biodegradables. La DBO, indica los miligramos por litro de oxígeno disuelto, así podemos medir el poder autodepurador de un río o la eficacia de las plantas depuradoras. Entre los parámetros que se miden también está la DQO (demanda química de oxígeno) que es un parámetro comparativo por la DBO.

Después de haber obtenido un éxito rotundo en este manejo se diseñaron y programaron las plantas de tratamiento de aguas residuales para el río Medellín y en este mes de diciembre iniciará trabajos la planta de tratamiento de aguas residuales de San Fernando.

4.5 Acueducto y alcantarillado

4.5.1 Sistema de abastecimiento de agua

Un sistema de abastecimiento de agua es aquel que recoge el agua desde la fuente de captación, que puede ser una naciente u ojo de agua; un pozo o un río y la lleva, a través de tuberías, a cada una de las viviendas o hacia una fuente de uso público. Las fuentes públicas tienen como propósito abastecer a aquellas personas que no tienen agua en su casa.

El sistema de agua lo conforman los diferentes elementos y componentes de la obra física así como las actividades que se realizan para el adecuado tratamiento, almacenamiento y distribución del agua.

El diseño, construcción y administración del acueducto se deben planificar con mucho cuidado para garantizar que el agua que llega a las familias sea agua limpia y apta para el consumo humano. El sistema de abastecimiento tiene como beneficio adicional ahorro de tiempo y esfuerzo.

Es necesario saber calcular también la presión, la velocidad; y el tamaño y mejor ubicación de las tuberías y obras de concreto como tanques de almacenamiento y captaciones.

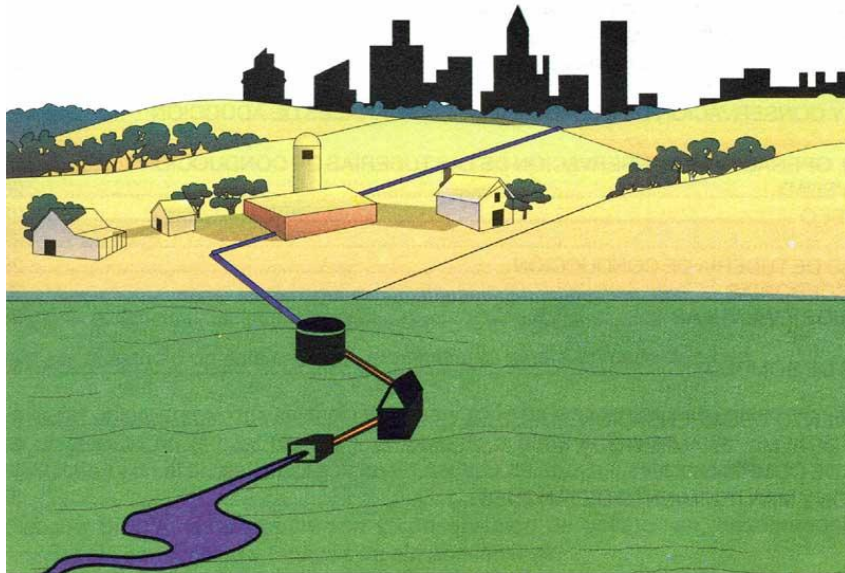
El diseño del acueducto debe contemplar además, estudios topográficos de la zona, para conocer distancias, altitudes y la localización de las viviendas e instalaciones comunales a donde se quiere llevar agua.

4.5.2 Tipos de acueducto

Acueducto por gravedad

En este sistema la fuente de captación está en un nivel más alto que la comunidad. El agua baja por gravedad o sea por su propio peso, hasta el tanque de almacenamiento.

Figura 4. Acueducto por gravedad



Fuente: http://biblioteca.sena.edu.co/exlibris/aleph/u21_1/alephe/www_f_spa

Acueducto por bombeo

Cuando la comunidad se ubica en un nivel más alto que la fuente es necesario utilizar bombas para elevar el agua. Estas bombas impulsan el agua hacia los tanques de almacenamiento y distribución. Una vez en los tanques el agua baja por gravedad a la comunidad.

Existen dos tipos de bombas; las bombas eléctricas y las de motor que funcionan con gasolina o diesel.

4.5.3 Componentes del sistema de abastecimiento

Obras de captación

Las captaciones o tomas son estructuras de cemento que tienen como propósito recoger el agua de manantiales y escorrentías para llevarla al tanque de almacenamiento con el fin de abastecer a las comunidades.

Las captaciones se clasifican en dos:

- Captaciones de aguas subterráneas: son las que utilizan las fuentes superficiales como las nacientes, así como las sub-superficiales como drenajes o pozos de poca profundidad o acuíferos separados por medio de la perforación de pozos profundos.
- Captaciones de aguas superficiales: son las que usan escorrentías y depósitos superficiales como ríos, lagos y embalses. Su captación se hace mediante represas, canales, pozos y drenajes.

Existen dos tipos de tomas:

- Tomas de fondo: son las que se extienden transversalmente, o sea de lado a lado del río. Un ejemplo de este tipo de tomas son las represas, las cuales tienen un canal en la parte de arriba con una rejilla de metal diseñada para el paso del agua.
- Tomas laterales: se ubican al margen del río y tienen una rejilla de metal colocada de forma vertical. Algunas tiene una estructura dentro del cauce que desvía el agua hacia la captación.

La forma de las captaciones varía de acuerdo con la topografía del terreno y el tipo de sistema que se va a instalar. Estas captaciones pueden ser:

- Cerradas: se usan en tomas de agua construidas en vertientes o en los nacimientos de agua.
- Abiertas: se usan en ríos o quebradas. Su posición puede ser lateral o transversal al cauce. Esta toma ofrece la posibilidad de captar tanta agua como se necesite para el buen funcionamiento del sistema.
- Por pozos: Los pozos permiten la utilización de aguas subterráneas. En este sistema, el agua se extrae del pozo y, con ayuda de una bomba, se eleva al tanque de almacenamiento.

Líneas de conducción

Es la tubería que conduce el agua desde la fuente hasta el tanque de almacenamiento, por eso se llama línea de conducción. Existen dos tipos:

- Línea aductora: es la que se usa en sistemas de abastecimiento de agua por gravedad para unir la captación de agua al tanque de almacenamiento.
- Línea de impelencia: cumple la misma función solo que en este caso funciona por bombeo por estar ubicado el tanque más alto que la toma.

El tanque de almacenamiento

El tanque de almacenamiento o distribución ayuda a asegurar el abastecimiento de agua, al permitir almacenarla para utilizarla en las horas y épocas de mayor demanda.

Figura 5. Tanque de almacenamiento rural de Barbosa



Fuente: Imágenes tomadas por los autores

El reservorio de agua también evita tener que suspender el servicio mientras se hacen reparaciones o actividades de mantenimiento en la captación o en la conducción.

Los tanques se construyen generalmente en las zonas más altas o montados sobre estructuras de concreto o metal con el fin de que el agua alcance la altura necesaria para que baje por gravedad hacia la comunidad.

El desarenador

Cuando el agua viene de ríos o quebradas, es común que arrastre arena o materia orgánica. Para eliminarla es necesario construir, entre la fuente o captación y el tanque de distribución, un desarenador que retenga los sedimentos para que no lleguen al tanque de almacenamiento y no dañen las válvulas ni las llaves.

El desarenador es un recipiente grande donde el agua circula despacio para que los sedimentos se vayan hasta el fondo por su propio peso.

El hipoclorador

El hipoclorador es un pequeño tanque ubicado en la parte superior del tanque de almacenamiento. En este se coloca la solución a base de cloro que se usa para desinfectar el agua del reservorio.

Red de distribución

Está formada por tubería más delgada que va de la línea de conducción hasta las conexiones domiciliarias o las fuentes públicas.

Válvulas

Son instrumentos mecánicos que tienen como función cerrar, abrir o regular la salida del agua.

Las válvulas así como las llaves deben protegerse dentro de cajas construidas, especialmente para este fin, con tapa de metal o cemento. Estas cajas deben estar enterradas o protegidas para que no les pasen por encima.

Para alargar la vida útil de las válvulas y sus llaves es importante seguir las instrucciones de uso del fabricante y respetar el sentido correcto del flujo del agua señalado en la válvula con una flecha.

4.5.4 La micromedición y sus beneficios

Medir el consumo de agua es la mejor forma para garantizar un pago equitativo por el servicio de agua potable.

La medición trae también beneficios ambientales al fomentar la conservación y uso eficiente del agua potable. Al usarse menos agua, hay menor cantidad de aguas residuales y por lo tanto también se reduce la contaminación.

La micromedición permite establecer un marco de operación que favorece la transparencia en el trato al usuario o usuaria, la distribución equitativa del agua y el pago justo por el servicio que ofrece. Además, permite detectar cuando hay un consumo inusual o fugas en el sistema.

La medición ayuda a la administración a controlar el desperdicio de agua. Esto le permite ahorrar en insumos y otros gastos propios de la prestación del servicio, por ejemplo:

- Pago de energía eléctrica
- Uso de productos de tratamiento del agua
- Mantenimiento de equipos
- Pago de tiempo extraordinario del personal

4.5.5 Mantenimiento de sistemas de abastecimiento de agua

Mantenimiento son todas las acciones que se llevan a cabo en forma permanente y programada para asegurar la cantidad y la calidad del agua y mantener en buen estado de operación cada uno de los componentes y accesorios del sistema de agua; fuentes, captaciones, tanques, tuberías, válvulas, etc.

4.5.5.1 Tipos de mantenimiento

Mantenimiento preventivo

Mantenimiento preventivo son las acciones que se realizan periódicamente en el sistema de abastecimiento con el fin de prevenir fallas en el servicio y el deterioro de los equipos y las instalaciones. Hay que recordar que siempre es más barato prevenir que reparar.

Para que el mantenimiento se dé conforme los requerimientos del sistema, es importante elaborar un plan de mantenimiento. Este plan debe establecer las acciones a realizar, ya sean de limpieza o sustitución, la fecha en que debe realizarse, los materiales que se necesitan y el nombre de la persona responsable de hacerlo.

Para dar mantenimiento preventivo a un acueducto, se recomienda atender, de manera prioritaria, las siguientes partes del sistema:

Captación en la fuente:

- Inspeccionar mensualmente, en época lluviosa para conocer el estado de limpieza y detectar posibles problemas.
- Eliminar la maleza, vegetación, tierra, piedras y cualquier objeto que pueda obstruir el paso del agua o contaminarla.
- Construir drenajes para evitar que el agua se empoce y se contamine.
- Estar atentos a derrumbes o deslaves que puedan afectar los tanques.
- Verificar el manejo adecuado de los accesorios.

- Revisar las válvulas y compuertas.
- Pintar las piezas y accesorios que así lo requieren.

Líneas de conducción:

- Verificar que no hayan deslizamientos ni hundimientos en la tierra.
- Revisar que no haya humedad en las líneas y reparar de inmediato cualquier fuga de agua.
- Asegurar el buen funcionamiento de las válvulas de purga para evitar la presencia de sedimentos.
- Mantener el flotador en buen estado de funcionamiento.
- Mantener la tubería protegida pasos elevados, quebradas y puentes.

Válvulas:

- Verificar que funcionen adecuadamente para evitar que las altas presiones produzcan daños; que abran y cierren; que no haya rupturas y que estén limpias.

Tanque de distribución:

- Mantener en buen estado la escalera, que lleva a la parte de arriba del tanque y la tapa de visita.
- Mantener el tanque limpio y lleno.
- Verificar el estado de las válvulas de limpieza y los tubos de salida y distribución.
- Controlar el funcionamiento de las válvulas de entrada y salida y el llenado y vaciado.
- Mantener libre de sedimentos.

Pozos profundos y equipos de bombeo:

- Desinfectar el pozo antes de iniciar su operación.
- Evitar la incrustación de rejillas y el revestimiento que se deriva de la utilización del método mecánico y el tratamiento químico.
- Realizar mensualmente análisis físicos, químicos y bacteriológicos del agua.

Desarenador:

- Verificar los movimientos de las válvulas.
- Mantener válvulas y accesorios libres de sedimentos.

Redes de distribución:

- Verificar el buen estado de operación de toda la red.
- Revisar las válvulas.
- Llevar registro de medición de presión, daños y acciones de mantenimiento.
- Revisión y reparación de fugas.

Mantenimiento correctivo:

Por mantenimiento correctivo entendemos las reparaciones que se hacen para corregir los daños o fallas que aparezcan en el acueducto. Estos daños pueden ser por el desgaste de los componentes, por manejo o mantenimiento inadecuado o por efectos de la naturaleza.

4.6 Sensores electrónicos

4.6.1 Sensores de nivel

La medición de nivel de líquidos y sólidos se hace en los procesos industriales para evaluar las cantidades de materia prima consumidas y también la cantidad de productos que se procesan.

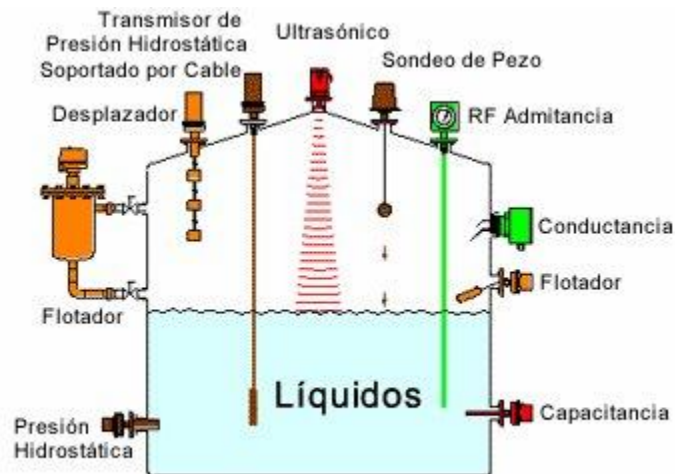
En algunas aplicaciones también es necesario medir y controlar el nivel, para garantizar que algunas máquinas funcionen correctamente en el proceso.

Los medidores de nivel se clasifican en medidores de nivel de líquido y en medidores de nivel de sólidos.

A su vez los medidores de nivel de líquidos se clasifican como medidores de medida directa, medidores por presión hidrostática y medidores electrónicos.

Los medidores de nivel de sólidos más usuales son los medidores electrónicos.

Figura 6. Sensores de Nivel



Fuente: <http://mediciondenivelesantech.blogspot.com/>

Medidores de nivel de líquidos

Sensores de medida directa

Estos medidores consisten en una regla graduada en centímetros o pulgadas, que se sumerge en un tanque y luego la parte impregnada de líquido en la regla es la medida directa de nivel. Este medidor se utiliza en estanques abiertos.

Otra variación de este tipo de medidor de nivel, es que la regla graduada se encuentra pegada a un lado del tanque y se mide el nivel de manera directa en la regla, de acuerdo con el nivel alcanzado en el tanque. Este sistema se emplea en tanques translúcidos o transparentes.

En tanques cerrados se suele emplear el medidor de tubo de vidrio, que es un sistema parecido al empleado en las grecas donde se hace el café. El tubo de vidrio es adaptado al tanque de tal manera que a medida que sube o baja el nivel del tanque, el fluido en el tubo de vidrio también sube o baja. Para obtener una medición es necesario que el tubo de vidrio tenga adaptada una escala graduada en centímetros o pulgadas.

Medición de nivel por presión hidrostática

El método de medida por presión hidrostática consiste en medir la presión hidrostática generada por la columna del líquido que se aloja en el tanque.

Como la presión hidrostática es directamente proporcional a la altura del líquido y la altura equivale al nivel, entonces se instala un medidor de presión en la parte inferior del tanque.

El medidor que se instala en la parte inferior, suele ser un medidor de presión diferencial el cual se instala de acuerdo con la aplicación.

Medidores ultrasónicos de nivel

Este sensor está compuesto por un emisor y un receptor de impulsos ultrasónicos. El emisor emite el ultrasonido, a través del líquido, hasta una superficie reflectante y el eco del mismo impulso es captado por el dispositivo receptor. El tiempo que demora el eco del impulso en llegar hasta el receptor, depende del nivel de líquido del tanque.

Para que el sistema de medida sea funcional se requieren circuitos acondicionadores de señal para poder obtener una medida de nivel.

4.6.2 Sensores de caudal

Rotámetro

Estos instrumentos de caudal también son conocidos como instrumentos de área variable. Se parecen a una placa de orificio, pero con un orificio variable.

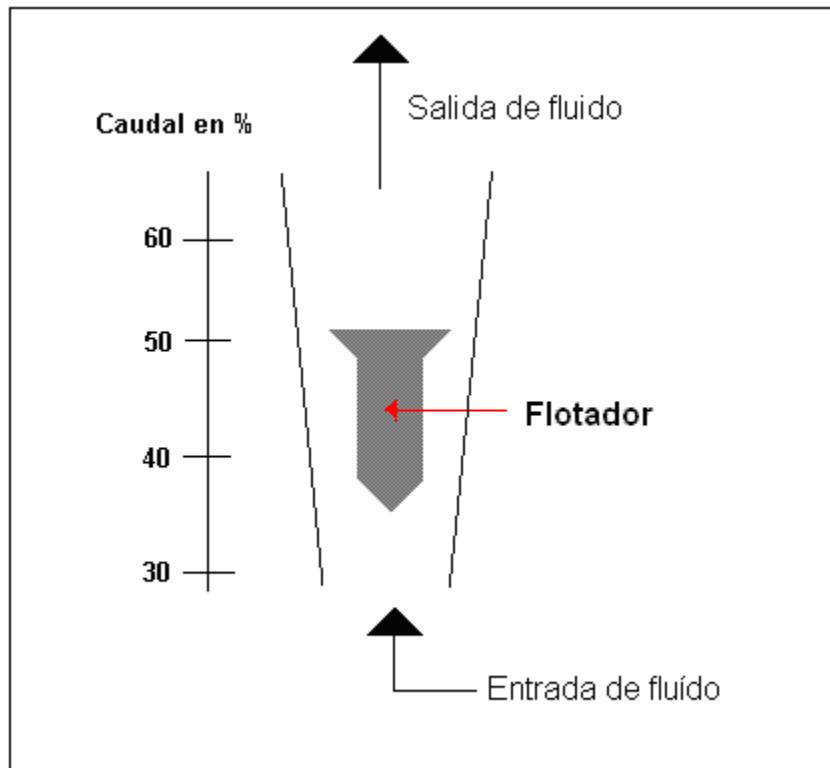
Un rotámetro está compuesto por un flotador que cambia su posición dentro de un tubo, proporcionalmente al flujo que pasa por el tubo. Ver figura 7.

Una vez el flotador está en equilibrio indica el caudal en la escala indicadora que por lo general se encuentra grabada en la pared del tubo.

Se utiliza en la medición de caudal de líquidos y gases.

Por su precisión, se emplea como instrumento patrón de otros medidores de caudal

Figura 7. Rotámetro



Fuente: Imagen elaborada por los autores

Medidores de caudal masa

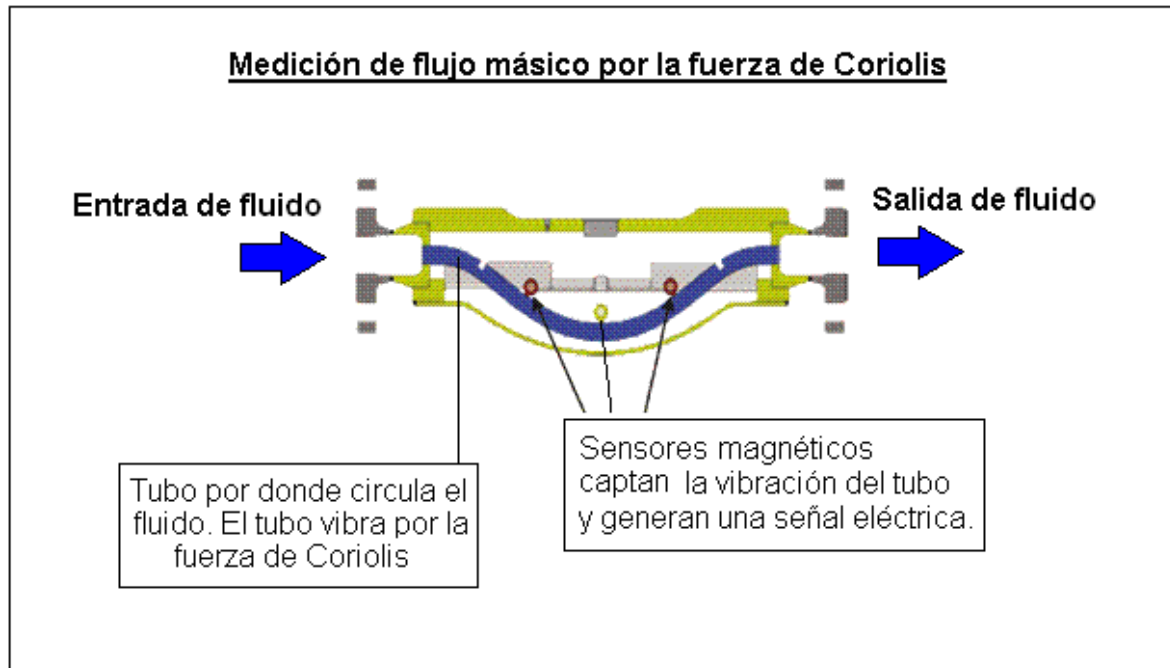
En algunos procesos industriales se requiere medir el caudal másico. Para este tipo de aplicaciones se suele emplear un medidor que trabaja con el teorema de Coriolis.

Teorema de Coriolis

Este teorema lo planteó el matemático francés (1795 – 1843) quien observó, que *“un objeto de masa (m) que se desplaza con una velocidad lineal (V) a través de una superficie giratoria que gira con velocidad angular constante (w), experimentará una velocidad tangencial tanto mayor cuanto mayor es su alejamiento del centro”*.

Para entender mejor el principio de funcionamiento de este medidor, analice la figura 8.

Figura 8. Medidor de Coriolis



Fuente: Imagen elaborada por los autores

El fluido entra al tubo y por el efecto de la fuerza de Coriolis, vibra y este efecto es detectado por unos sensores adaptados al tubo. Los sensores generan una señal de tipo eléctrico que luego es adaptada por un acondicionador de señal. La señal adaptada por el acondicionador es de 4 a 20 mA.

Como se explicó anteriormente, esta señal de 4 a 20 mA es proporcional al valor de la variable que en este caso es el flujo másico.

4.6.3 Sensores de temperatura

Termopares

Los termopares se utilizan extensamente, ya que ofrecen una gama de temperaturas mucho más amplia y una construcción más robusta que otros tipos.

Además, no precisan alimentación de ningún tipo y su reducido precio los convierte en una opción muy atractiva para grandes sistemas de adquisición de datos.

Sin embargo, para superar algunos de los inconvenientes inherentes a los termopares y obtener resultados de calidad, es importante entender la naturaleza de estos dispositivos.

Leyes del comportamiento de termopares:

- I. Ley del circuito homogéneo. En un conductor metálico homogéneo no puede sostenerse la circulación de una corriente eléctrica por la aplicación exclusiva de calor.
- II. Ley de metales intermedios. Si en un circuito de varios conductores la temperatura es uniforme desde un punto de soldadura A otro punto B, la suma algebraica de todas las fuerzas electromotrices es totalmente independiente de los conductores metálicos intermedios y es la misma que si se pusieran en contacto directo A y B.
- III. Ley de las temperaturas sucesivas. La f.e.m. generada por un termopar con sus uniones a las temperaturas T_1 T_3 es la suma algebraica de la f.e.m. del termopar con sus uniones a T_1 T_2 de la f.e.m. del mismo termopar con sus uniones a las temperaturas T_2 T_3 .

El comportamiento de un termopar se basa en la teoría del gradiente, según la cual los propios hilos constituyen el sensor. Cuando se calienta uno de los extremos de un hilo, le produce una tensión que es una función del (A) el gradiente de temperatura desde uno de los extremos del hilo al otro, y (B) el coeficiente de Seebeck, una constante de proporcionalidad que varía de un metal a otro.

Un termopar se compone sencillamente de dos hilos de diferentes metales unidos en un extremo y abiertos en el otro. La tensión que pasa por el extremo abierto es una función tanto de la temperatura de la unión como de los metales utilizados en los dos hilos.

Todos los pares de metales distintos presentan esta tensión, denominada tensión de Seebeck en honor a su descubridor, Thomas Seebeck.

En pequeñas gamas de temperaturas, los coeficientes de Seebeck de los dos hilos son constantes y la tensión de Seebeck es, por consiguiente, proporcional, pero en gamas más grandes, el propio coeficiente de Seebeck es una función de la temperatura, convirtiendo la tensión de Seebeck en no lineal. Como consecuencia, las tensiones del termopar también tienden a ser no lineales.

Detectores de Temperatura Resistivos (RTD)

La medida de temperatura utilizando sondas de resistencia depende de las características de resistencia, en función de la temperatura que son propias del elemento de detección.

El elemento consiste usualmente en un arrollamiento de hilo muy fino del conductor adecuado, bobinado entre capas de material aislante y protegido con un revestimiento de vidrio o cerámica.

El material que forma el conductor se caracteriza por el coeficiente de temperatura de resistencia que expresa, a una temperatura específica, la variación de la resistencia en ohmios por cada grado que cambia su temperatura.

La ecuación que describe su funcionamiento es:

$$R_t = R_o (1 + \alpha t)$$

En donde:

R_t : Resistencia en ohmios a $t^\circ\text{C}$

R_o : Resistencia en ohmios a 0°C

α : coeficiente de temperatura de la resistencia cuyo valor entre 0°C y 100°C es de $0,00358 \Omega / \Omega,^\circ\text{C}$.

4.6.4 Sensor de turbidez

La turbidez en los líquidos está causada por la presencia de sólidos en suspensión no disueltos. Cuantos más sólidos en suspensión tenga el agua, más sucia parecerá y mayor será su turbidez. La turbidez se considera una medida de la calidad del agua.

Puede determinarse midiendo la atenuación de las radiaciones que pasan a través del líquido; o bien midiendo la intensidad de la radiación dispersa o difusa. La difusión de las radiaciones es una de las propiedades de los líquidos y se utiliza para determinar la turbidez.

Actualmente están reconocidos los métodos USEPA 180.1 y la Norma ISO 7027. Mientras USEPA 180.1 recomienda el uso de emisión en el visible a una longitud de onda de 400-600 nm, la Norma ISO 7027 propone la luz infrarroja a 860 nm como fuente emisora.

Figura 9. Sensor de turbidez



Fuente: <http://www.splabor.com.br/equipamentos-laboratorio/turbidimetro-de-bancada/turbidimetro>

La turbidez, leída en FTU (“Unidad de Turbidez de la Formazina”) está directamente relacionada con la presencia de materia en suspensión en el agua.

La unidad de medida adoptada por la Estándar ISO es la FNU (Unidad Nefelométrica de Formalina), mientras que la adoptada por la Estándar EPA es la NTU (Unidad Nefelométrica de Turbidez).

Los otros dos métodos usados para medir la turbidez son la JTU (Unidad de Turbidez de Jackson) y la unidad de Sílice (mg/L de SiO₂). La tabla siguiente muestra la relación entre las diferentes unidades de medida:

4.6.5 Sensor de conductividad y PH

Medidor de PH

El pH es una medida que indica la acidez del agua. El rango varía de 0 a 14, siendo 7 el rango promedio (rango neutral). Un pH menor a 7 indica acidez, mientras que un pH mayor a 7, indica un rango básico. Por definición, el pH es en realidad una medición de la cantidad relativa de iones de hidrógeno e hidróxido en el agua. Agua que contenga más iones de hidrógeno tiene una acidez mayor, mientras que agua que contiene más iones de hidróxido indica un rango básico.

Figura 10. Sensor de PH



Fuente: <http://www.yarethquimicos.com/pHmetro>

Ya que el pH puede afectarse por componentes químicos en el agua, el pH es un indicador importante de que el agua está cambiando químicamente. El pH se reporta en "unidades logarítmicas," como la escala de Richter, usada para medir la intensidad de los terremotos.

Cada número representa un cambio de 10 veces su valor en la acidez/rango normal del agua. El agua con un pH de 5, es diez veces más ácida que el agua que tiene un pH de seis.

La contaminación puede cambiar el pH del agua, lo que a su vez puede dañar la vida animal y vegetal que existe en el agua. Por ejemplo, el agua que sale de una mina de carbón abandonada puede tener un pH de 2, que representa un nivel alto de acidez, y obviamente ¡dañará a los peces que irresponsablemente se atrevan a vivir en ella! Usando la escala logarítmica, el agua que sale de esta mina puede tener hasta 100,000 veces más acidez que el agua neutral.

4.6.6 Medidor de conductividad

Conducción específica, también conocida como conductividad, es la medición de la habilidad del agua para transportar corriente eléctrica. Depende en gran medida en la cantidad de materia sólida disuelta en el agua (como la sal). Agua pura, como el agua destilada, puede tener muy poca conductividad y en contraste, agua de mar tendrá una conductividad mayor.

El agua de lluvia frecuentemente disuelve los gases y el polvo que se encuentran en el aire y por lo tanto, tiene una conductividad mayor que el agua destilada. La conductividad específica es una medida importante de la calidad del agua, ya que indica la cantidad de materia disuelta en la misma.

Figura 11. Sensor de conductividad del agua



Fuente: http://www.equiposylaboratorio.com/sitio/contenidos_mo.php?it=3181

Frecuentemente en las escuelas los estudiantes llevan a cabo un experimento: Conectan una batería a un foco y dos alambres se conectan desde la batería hasta un recipiente de vidrio que contiene agua.

Cuando los alambres se ponen dentro del recipiente conteniendo agua destilada, la luz del foco no se enciende. Pero cuando los alambres se ponen dentro del recipiente conteniendo agua salada (salina), el foco se enciende. En el agua salina, la sal disuelta libera electrones que permiten que el agua sea conductora de corriente eléctrica.

4.7 Instrumentos de medición y control

Los instrumentos de medición y control se pueden clasificar de acuerdo con la función que cumplen en el proceso de la siguiente manera:

Sensor

Está en contacto con la variable (presión, temperatura, etc.) y genera una señal en función del cambio que experimenta dicha variable.

Indicador

Indica el valor de la variable. Se clasifican en análogos, cuando se componen de aguja indicadora y escala numérica; y en digitales compuestos por una pantalla donde se visualiza el valor.

Registrador

Registra el valor de la variable con trazos continuos sobre el papel. Los datos de comportamiento del proceso se almacenan. Su funcionamiento es similar al de un aparato que registra los movimientos del corazón.

Transmisor

Por lo general tiene adaptado el sensor que mide la variable y genera una señal de transmisión para enviar a distancia hasta un instrumento receptor. El rango de la señal es de 3 a 15 psi, si el transmisor es neumático o de 4 a 20 mA, si el transmisor es electrónico.

El valor de la señal de transmisión en determinado momento depende del valor de la variable medida por el transmisor. La relación: *señal de transmisor* vrs *variable*, es lineal.

Controlador

Compara el valor de la variable (señal que proviene del transmisor), con el punto de control o valor deseado y de acuerdo con la diferencia de estas dos señales (error) y a la configuración del controlador, genera una señal de corrección.

Convertidor

Estos dispositivos se utilizan para convertir señales neumáticas en señales eléctricas o viceversa. Si el convertidor es de corriente a presión (I/P), convierte una señal de 4 a 20 mA a una señal de 3 a 15 psi. Si el convertidor es de presión a corriente (P/I), hace la conversión al contrario.

Elemento final de control

Este instrumento recibe la señal de corrección que elabora el controlador y de acuerdo con el valor de esta señal hace la corrección en el proceso, para garantizar el control de la variable.

4.8 Sistemas de medición y control

Los sistemas de control permiten monitorear el estado en el que se encuentran las variables industriales y controlar el valor de estas, de acuerdo con lo que defina el usuario del proceso.

Un sistema de control está compuesto por: Un dispositivo de medición de la variable, un controlador que actúa como cerebro del sistema y un elemento final que aporta la energía para corregir las desviaciones que se presentan en el proceso.

El sistema de control puede ser en lazo abierto y en lazo cerrado. A continuación se explica en detalle el funcionamiento de cada uno de estos sistemas de control.

4.8.1 Sistema de control en lazo abierto

La característica que determina este sistema es, que para garantizar el control de la variable se emplea un controlador que cumple su función, de acuerdo con unos tiempos programados por el diseñador del dispositivo.

No se comprueba el valor de la variable controlada y cuando hay perturbaciones en el proceso el sistema no controla la variable.

4.8.2 Sistema de control en lazo cerrado

La característica determinante de este sistema es que, la señal generada por el sensor, a partir de la variable medida, es realimentada al controlador por medio de un instrumento transmisor.

La señal de realimentación se compara con un valor deseado y de acuerdo con la diferencia de estos dos valores y el programa del controlador, se envía una señal de corrección al proceso por medio del elemento final de control.

Cuando hay perturbaciones en el proceso el sistema garantiza el control de la variable de acuerdo con el valor deseado.

4.9 Técnicas de control

A continuación se expone una breve reseña los siguientes aspectos de la teoría del control:

Respuesta en tiempo. La respuesta en el tiempo de un sistema de control consta de dos partes, la respuesta transitoria y la respuesta en estado estable. La respuesta transitoria es la que va del estado inicial al estado final. La respuesta en estado estable, es la manera en la cual se comporta la salida del sistema conforme el tiempo tiende a infinito.

El análisis de la respuesta transitoria es de gran importancia debido a que en muchos casos prácticos, las características de desempeño deseadas del sistema de control se especifican en términos de cantidades en el dominio del tiempo. Los sistemas que pueden almacenar energía no responden instantáneamente y exhiben respuestas transitorias cada vez que están sujetos a entradas o perturbaciones.

Con frecuencia, las características de desempeño de un sistema de control se especifican en términos de la respuesta transitoria para una entrada escalón unitario, dado que ésta es fácil de generar y es suficientemente drástica. (Si se conoce la respuesta a una entrada escalón, es matemáticamente posible calcular la respuesta para cualquier entrada.).

La respuesta transitoria de un sistema para una entrada escalón unitario depende de las condiciones iniciales.

Por conveniencia al comparar respuestas transitorias de varios sistemas, es una práctica común usar la condición inicial estándar de que el sistema está en reposo al inicio, por lo cual la salida y todas las derivadas con respecto al tiempo son cero. De este modo, las características de respuesta se comparan con facilidad.

La respuesta transitoria de un sistema de control práctico exhibe con frecuencia oscilaciones amortiguadas antes de alcanzar el estado estable. Al especificar las características de la respuesta transitoria de un sistema de control para una entrada escalón unitario es común especificar lo siguiente:

Tiempo de retardo, es el tiempo requerido para que la respuesta alcance la primera vez la mitad del valor final.

Tiempo de levantamiento T_R , es el tiempo de levantamiento es el tiempo requerido para que la respuesta pase del 10 al 90%, del 5 al 95% o del 0 al 100% de su valor final.

Para sistemas su amortiguados de segundo orden, por lo común se usa el tiempo de levantamiento de 0 a 100%. Para sistemas sobre amortiguados, suele usarse el tiempo de levantamiento de 10 a 90%.

Tiempo pico TP, es el tiempo pico es el tiempo requerido para que la respuesta alcance el primer pico del sobrepaso.

Sobrepaso máximo (%) MP, es el sobrepaso máximo es el valor pico máximo de la curva de respuesta, medido a partir de la unidad. Si el valor final en estado estable de la respuesta es diferente de la unidad, es común usar el porcentaje de sobrepaso máximo. Se define mediante:

$$\text{Porcentaje de sobrepaso maximo} = \frac{c(t_p) - c(\infty)}{c(\infty)} \times 100\%$$

La cantidad de sobrepaso máximo (en porcentaje) indica de manera directa la estabilidad relativa del sistema.

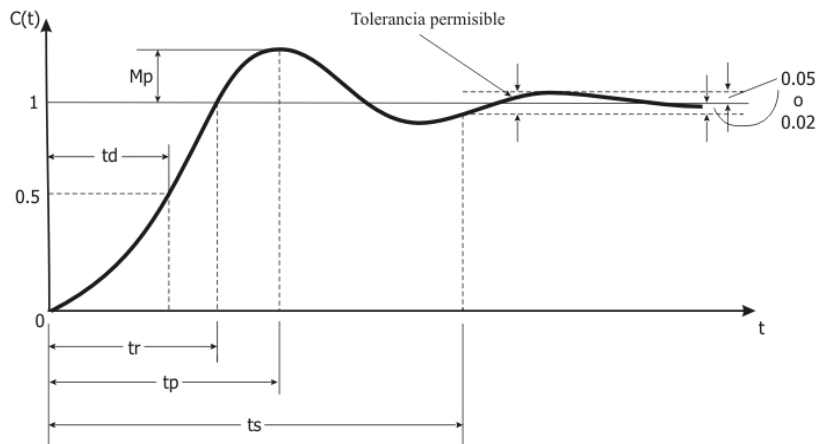
Tiempo de asentamiento TS, es el tiempo de asentamiento es el tiempo que se requiere para que la curva de respuesta alcance un rango alrededor del valor final del tamaño especificado por el porcentaje absoluto del valor final (por lo general, de 2 a 5%) y permanezca dentro de él.

El tiempo de asentamiento se relaciona con la mayor constante de tiempo del sistema de control. Los objetivos del diseño del sistema en cuestión determinan cuál criterio de error en porcentaje usar.

Las especificaciones en el dominio del tiempo que se proporcionaron son muy importantes, dado que casi todos los sistemas de control son sistemas en el dominio del tiempo; es decir, deben presentar respuestas de tiempo aceptables.

(Esto significa que el sistema de control debe modificarse hasta que la respuesta transitoria sea satisfactoria). Si se especifican los valores de, TR, TP, TS y MP, la forma de la curva de respuesta queda prácticamente determinada.

Figura 12. Curva de la dinámica del proceso



Fuente: <http://trabajos-control2.blogspot.com/2007/10/anlisis-de-respuesta>

Observe que todas estas especificaciones no necesariamente se aplican a cualquier caso determinado. Por ejemplo, para un sistema sobre amortiguado no se aplican los términos tiempo pico y sobrepaso máximo. (En los sistemas que producen errores en estado estable para entradas escalón, este error debe conservarse dentro de un nivel de porcentaje especificado).

Acciones básicas de control: Los controladores industriales se clasifican de acuerdo a sus acciones de control como:

De dos posiciones o de encendido y apagado (On/Off): En un sistema de control de dos posiciones, el elemento de actuación sólo tiene dos posiciones fijas que, en muchos casos, son simplemente encendido y apagado.

En el control de dos posiciones, la señal permanece en un valor ya sea máximo o mínimo, dependiendo de si la señal de error es positiva o negativa. Del siguiente modo:

$$u(t) = U_1, \text{ para } e(t) > 0$$

$$u(t) = U_2, \text{ para } e(t) < 0$$

En donde U_1 y U_2 son constantes. Por lo general, el valor mínimo de U_2 es cero o U_1 .

Es común que los controladores de dos posiciones sean dispositivos eléctricos, en cuyo caso se usa extensamente una válvula eléctrica operada por solenoides. Los controladores neumáticos proporcionales con ganancias muy altas funcionan como controladores de dos posiciones y, en ocasiones, se denominan controladores neumáticos de dos posiciones.

El rango en el que debe moverse la señal de error antes de que ocurra la conmutación se denomina brecha diferencial.

Tal brecha provoca que la salida del controlador $u(t)$ conserve su valor presente hasta que la señal de error se haya desplazado ligeramente más allá de cero. En algunos casos, la brecha diferencial es el resultado de una fricción no intencionada y de un movimiento perdido; sin embargo, con frecuencia se provoca de manera intencional para evitar una operación demasiado frecuente del mecanismo de encendido y apagado.

Proporcionales: Para un controlador con acción de control proporcional, la relación entre la salida del controlador $u(t)$ y la señal de error $e(t)$ es:

$$u(t) = K_p e(t)$$

En donde K_p se considera la ganancia proporcional.

Cualquiera que sea el mecanismo real y la forma de la potencia de operación, el controlador proporcional es, en esencia, un amplificador con una ganancia ajustable.

Integrales: En un controlador con acción de control integral, el valor de la salida del controlador $u(t)$ se cambia a una razón proporcional a la señal de error $e(t)$. Es decir.

$$\frac{du(t)}{dt} = K_i e(t)$$

En donde K_i es una constante ajustable. La función de transferencia del controlador integral es:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = \frac{K_i}{s}$$

Si se duplica el valor de $e(t)$, el valor de $u(t)$ varía dos veces más rápido. Para un error del cero, el valor de $u(t)$ permanece estacionario. En ocasiones, la acción de control integral se denomina control de reajuste.

Proporcionales-integrales: La acción de control de un controlador proporcional-integral (PI) se define mediante.

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt$$

En donde K_p es la ganancia proporcional y T_i se denomina tiempo integral. Tanto K_p como T_i son ajustables. El tiempo integral ajusta la acción de control integral, mientras que un cambio en el valor de K_p afecta las partes integral y proporcional de la acción de control. El inverso del tiempo integral T_i se denomina velocidad de reajuste.

La velocidad de reajuste es la cantidad de veces por minuto que se duplica la parte proporcional de la acción de control. La velocidad de reajuste se mide en términos de las repeticiones por minuto.

5 METODOLOGIA

El desarrollo del Proyecto Electromecánico; diseño de un sistema inteligente para garantizar la limpieza del agua desde su entrada en acueducto rural hatillo Barbosa, se llevó a cabo en tres fases, en las cuales se emplearon diversas técnicas e instrumentos para una adecuada ejecución; cabe destacar que estas fases son consecuentes una de otra, ya que suponen una construcción del conocimiento a lo largo del proceso, permitiendo así la retroalimentación constante.

A continuación se procede a detallar cada fase.

FASE 1: Investigación Teórica.

Esta fase consistió en la recopilación de normas, procedimientos y estándares nacionales e internacionales que se deben cumplir para garantizar una correcta prevención de sedimentos en el agua; igualmente se realizó una recolección de información sobre los diversos componentes electrónicos disponibles en el mercado como sensores, actuadores y controladores, para lo cual se emplearon fuentes tanto físicas como virtuales.

Asimismo, se entrevistó y conversó con los diversos profesionales en el área; además de visitar instituciones tanto privadas como públicas que se relacionan con el tema de potabilización del agua, con el propósito de aclarar las dudas sobre los sistemas prevención de sedimentos adecuada.

Una vez reunida la información y previo al diseño, se procedió a analizar los datos obtenidos con el fin de garantizar que el producto final respondiera a la necesidad de la Junta administradora acueducto y/o alcantarillado Hatillo-Barbosa en términos de calidad y economía.

FASE 2: Diseñar un sistema de dosificación de cloro.

Una vez investigado y analizado el tema; se procedió a elaborar los bocetos iniciales del diseño eléctrico para el sistema antes mencionado; éste proceso se realizó de manera detallada, para así detectar posibles errores que puedan surgir si se llegara a poner en práctica.

El diseño incluye una guía detallada del funcionamiento y operación del sistema. Además se realizó paralelamente un presupuesto detallado de los materiales y equipo necesario para la realización del presente sistema, el cual considera el aspecto económico del proyecto.

FASE 3: Montaje del equipo.

Esta parte consistió en el montaje del equipo electromecánico —Diseño de un sistema inteligente para garantizar la limpieza del agua desde su entrada en acueducto rural hatillo Barbosa” acueducto, con el propósito de ser revisado y evaluado por los encargados.

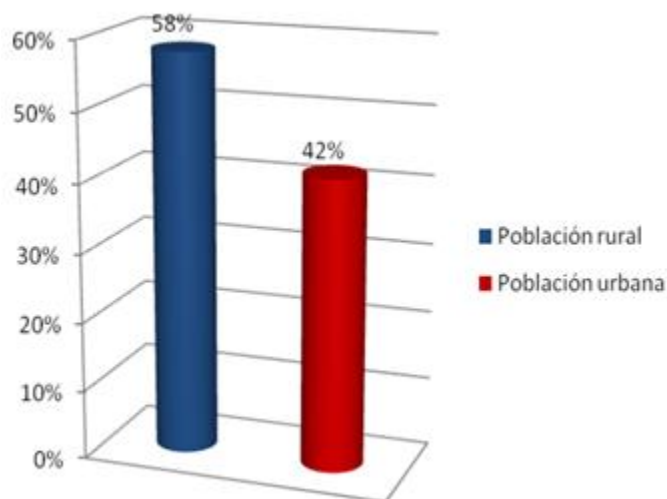
5.1 POBLACION

El municipio de Barbosa cuenta con una población estimada de 43.329 habitantes para el año 2009. En el área urbana del municipio residen 18.187 habitantes, mientras que en el área rural habitan 25.142 personas.

Los beneficiarios del acueducto Hatillo son 700 domicilios y aproximadamente 2300 personas.

La mayoría de la población reside en el área rural, y es el único municipio del Aburrá Norte que presenta esta situación, siendo una ventaja para nuestro proyecto que busca mejorar las condiciones en los acueductos rurales.

Figura 13. Distribución de la población de Barbosa



Fuente: Estadísticas de SISBEN. Alcaldía de Barbosa

La mayoría de la población del municipio es joven, lo cual representa múltiples potencialidades para el desarrollo de Barbosa.

5.1.1 Riesgos geológicos

Existen riesgos por caída de rocas en el sector del Hatillo sobre la margen derecha del río Aburrá y la quebrada La Lomita, deslizamientos cerca de la carretera Hatillo - Barbosa y Barbosa – Don Matías, también son frecuentes los deslizamientos en la carretera al municipio de Concepción; en el camino hacia la vereda Potrerito, en laderas de la quebrada la López y taludes de la carretera Medellín – Barbosa – Porce.

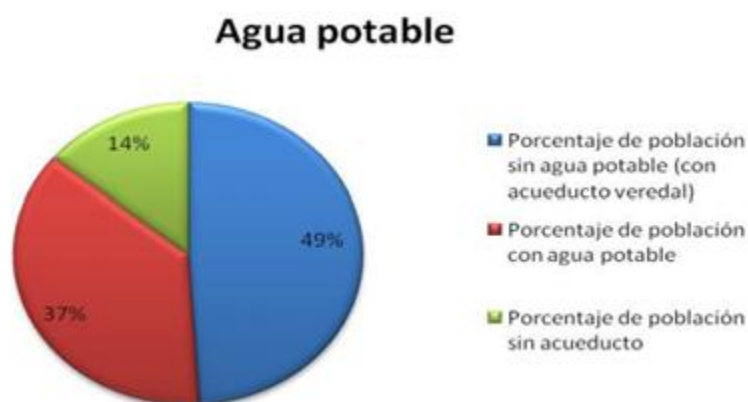
Los riesgos de las poblaciones asentadas en las márgenes de las quebradas son muy altos, el desbordamiento de estas es común en época de invierno como fenómeno natural, y se incrementa con la disposición de desechos sólidos por parte de la población.

También se presentan amenazas por deslizamientos en veredas como Cestillal, más que todo por ocupación del cauce de la quebrada de este sector.

5.1.2 Acueducto

Casi la mitad de la población en el municipio no cuenta con agua potable, lo cual se convierte en una de las causas de la pobreza. Barbosa cuenta con el índice de cobertura de agua potable más bajo entre los municipios del Valle de Aburra.

Figura 14. Distribución de agua potable en Barbosa



Fuente: Secretaria de agricultura y ecosistemas de Barbosa

Hatillo es el único acueducto rural en Barbosa que ofrece agua potable apta para el consumo humano debido al gran esfuerzo de la junta administradora acueducto y/o alcantarillado Hatillo-Barbosa.

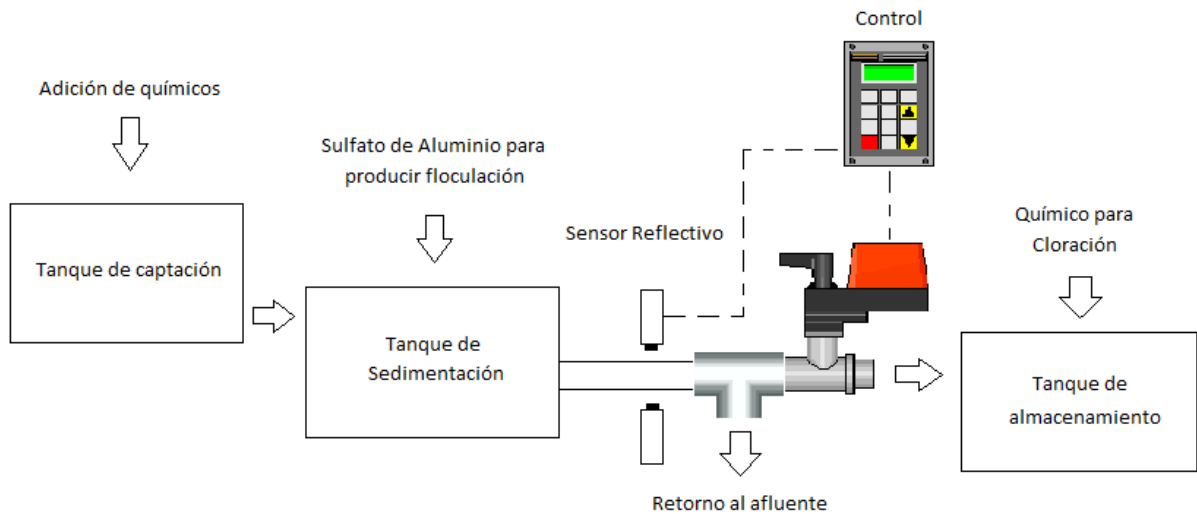
6 DESARROLLO DEL TRABAJO

6.1 Tratamiento de Agua potable

Después de analizar la documentación del marco teórico y de acuerdo a las posibilidades de la Junta Administradora Local del municipio de Barbosa. La propuesta es la siguiente:

- Diseñar un tanque de captación del afluente para que en esta primera etapa se adicionen químicos para acondicionar el agua en cuanto a turbidez, PH, conductividad, etc.
- Luego se debe acondicionar un segundo tanque de sedimentación y en este se adiciona el Sulfato de Aluminio para flocular el material particulado y puedan eliminarse los sedimentos de gran tamaño.
- A la salida del tanque de sedimentación se instala el sensor Reflectivo que detectara sedimentos más pequeños y se envía la señal al controlador para que válvula dirija el flujo de agua en la dirección más conveniente.
- Si hay muchos sedimentos por el invierno el agua retorna al rio. Si hay pocos sedimentos e agua de almacena en el tanque de almacenamiento que ya se encuentra construido en el acueducto. Esta acción la desempeña la válvula con la orden del controlador.
- En el tanque de almacenamiento se agrega el cloro y queda lista el agua para ser distribuida a la población.
- Se sugiere acondicionar un lugar para realizar pruebas de laboratorio que garanticen que el agua es apta para el consumo humano.

Figura 15. Sistema de tratamiento de agua



Fuente: Imagen diseñada por los autores

6.2 Especificaciones del sistema de control

Diseñar un dispositivo capaz de medir en la entrada principal del acueducto de la Vereda Hatillo- Barbosa los sólidos provenientes de la quebrada, dependiendo de esto aceptará o cerrará la entrada del agua a la planta de tratamiento, el dispositivo debe actuar como un sensor durante las 24 horas del día para garantizar que no entren sedimentos, esto con el propósito de ofrecer un mejor servicio en el tratamiento del agua, reducir costos, disminuir los riesgos en la planta durante la noche y aumentar la vida útil de los tanques encargados de la purificación del agua.

6.3 Selección de instrumentos de medición y control

Los elementos necesarios para el equipó serán escogidos tomando como herramienta esencial su resistencia al medio ambiente ya que esto es fundamental para garantizar su funcionalidad en largo tiempo y también su exactitud.

Para la aplicación propuesta se escogieron los siguientes instrumentos de medición y control:

Sensor Reflectivo CDR

Alimentación 10-30 VDC

Dirección de detección: Horizontal

Distancia de detección: 10 a 30 cm

Ajuste de sensibilidad vía Trimmer 270°

Tipo de salida NPN ó NPN

Cuerpo de Poliamida

Grado de protección: IP66

Cumple con los estándares de calidad CE, ISO 9001- 2000, EMC

Marca: FOTEKControls

Proveedor: Alltronics Perú S.A.C.

El sensor estará compuesto de una señal lumínica, un emisor y un receptor. La porción de tubo donde se ubicara el sensor debe ser transparente con un diámetro de 4" (Diámetro más utilizado en la entrada de acueductos).Éste, estará ubicado antes de la válvula.

Figura 16. Sensor Reflectivo



Fuente: Pagina web del distribuidor del sensor

Modutrol

Motor Modutrol IV Serie 62 para el control flotante de compuertas y válvulas. Con una señal de 3 puntos de un controlador electrónico posiciona una válvula de mariposa, válvula o compuerta en cualquier punto entre abierta y cerrada.

Descripción: IV Modutrol™ Motor eléctrico

- Interruptores auxiliares interiores: 2
- Posición en caso de fallo: sin muelle de retorno.
- Señal de control: Flotante (3 puntos)
- Carrera: ajustable, 90 a 160 grados, simétrico
- Par: 17 Nm (150 libras-in).
- Interruptores auxiliares externos disponibles: Sí.
- Tensión: 24 Vac 50/60 Hz, 15 VA.
- Conexiones eléctricas: Terminales de tornillo.
- Eje Forma / Dimensiones: cuadrado doble / 10 mm.
- Peso: 3,5 kg.
- Dimensiones: 164 mm de alto x 140 mm de ancho x 185 mm de profundidad.
- Rango de temperatura, ambiente: -40 a +60 °C.

Figura 17. Actuador motorizado



Fuente: Imagen tomada de la pagina web del fabricante

Otras especificaciones del Modutrol

- Tiempo nominal: 30 a 60 seg.
- Rotación eje: depende del conexionado.

Aprobaciones: CE EN55011 (emisión) EN50082-2 (inmunidad) 73/23/CEE (LVD)

Comentarios: con feedback lineal 10 K.

- Muelle Integral devuelve retorno del motor a la posición normal en caso de fallo de alimentación en modelos de retorno por muelle.
- Caja de conexiones NEMA 3 Integral proporciona protección contra la intemperie si el motor está montado en posición vertical.
- Adaptador de soporte para emparejar la altura del eje de los motores antiguos disponible.
- Todos los modelos modelos tienen dos ejes o eje doble (ranurados y roscados en ambos extremos).
- Todos los modelos tienen interruptores auxiliares de par.
- Los motores están diseñados para cualquier válvula y compuerta normalmente abiertas o normalmente cerradas.
- Caja de fundición de aluminio.

Figura 18. Sistema mecánico del Modutrol



Fuente: Fotografía tomada por los autores

La válvula irá compuesta por dos (2) canales para las salidas y uno (1) para la entrada del agua, de ahí la importancia en que tenga dichos canales puesto que en el momento de la aproximación del agua turbia, de inmediato la válvula que contiene el sensor se cerrara, en ese momento el liquido seguirá fluyendo por la salida a la quebrada y a su vez este sensor identificará cuando el agua se torne normal, es decir que ya no contenga ningún tipo de sedimento.

Especificaciones de la válvula

Válvula de bola de tres vías. Diámetro de cuatro pulgadas de acero inoxidable con cuadrante para actuador de 14mm Marca GENOVE.

Figura 19. Válvula de dos vías



Fuente: Fotografía tomada por los autores

Controlador

El dispositivo estará conectado a una tarjeta programada, es decir que ya estará preparada para enviarle al sensor una señal de cierre, cuando el agua tenga cambios, es decir, que en el caso de que el agua este sucia y pase por el sensor, éste automáticamente cerrara la entrada a la planta y a su vez abrirá el canal de la salida a la quebrada, además cuando dicho sensor detecte la transparencia del agua, el sistema abrirá la entrada a la planta y cerrara la salida a la quebrada.

Figura 20. Tarjeta de control



Fuente: Fotografía tomada por los autores

6.4 Implementación del sistema y pruebas

La implementación y pruebas del sistema aun no se pueden desarrollar debido a que la Junta administradora local no cuenta con los recurso para adecuar el acueducto y adquirir los elementos que aun hacen falta.

7 RECURSOS

7.1 Humanos

Un tecnólogo mecánico, un tecnólogo electromecánico y un ingeniero asesor del área de la mecánica en control automático.

7.2 Técnicos

Tabla 1. Recursos técnicos

Descripción	Cantidad	Costo
Obras Publicas	-	\$1.500.000
Tanques	2	\$1.000.000
Sensor	2	\$600.000
Válvula con Modutrol	1	\$1.800.000
Tarjeta de Control	1	\$450.000
Diseño de algoritmo de control	-	\$500.000
Accesorios y tuberías	-	\$250.000
Insumos químicos	-	\$150.000
Instrumentos de Laboratorio	-	\$3.000.000
	TOTAL	\$9.250.000

8 CONCLUSIONES

Con la realización de este proyecto, inicialmente los primeros beneficiados serían los habitantes de la vereda Hatillo - Barbosa por tener un acueducto inteligente, capaz de evitar la entrada de sólidos a la planta, en segundo plano el acueducto y sus encargados, de otra parte la intranquilidad en las noches lluviosas se acabaría, los costos disminuirían porque la limpieza a los tanques será menos frecuente, los tanques compuestos de antracita y otras arenas tendrán mucha más vida útil, lo mismo le sucederá a los tanques compuestos por placas no se contaminaran tanto y su duración aumentara, otro punto importante para que los costos bajen es que la utilización de cloro y sulfato de aluminio disminuirá.

Básicamente el tratamiento del agua se hará más fácil, un tema importante e interesante para los acueductos porque resuelve uno de los problemas más complicados, sobre todo en materia de salud pública. Si este proyecto funciona correctamente, la idea se podría aplicar en la mayoría de acueductos veredales mejorando y asegurando un excelente tratamiento del agua.

Para el éxito de un sistema, cualquiera que sea, es fundamental que se realice una investigación sobre el área en el cual se pretende desarrollar; de manera que se puedan identificar aspectos claves que el sistema deba de considerar para ajustarse a la realidad en la cual será implementado.

Es por ello, que el presente proyecto, empleó como sustento teórico para el diseño del sistema de prevención de sólidos; las normativas tanto nacionales como internacionales sobre potabilización del agua.

La propuesta desarrollada, se fundamentó en el principio de ofrecer a la Junta Administradora de Hatillo-Barbosa, una alternativa confiable de prevención de sedimentos, que fuera económicamente accesible para su implementación en el acueducto de la zona.

Para el funcionamiento adecuado de dicho sistema; fue preciso, la elaboración de planos eléctricos y mecánicos; gracias a las cuales se logra poner el sistema a prueba con el fin de detectar posibles incongruencias o errores en la posterior implementación.

Finalmente como parte de los objetivos del presente trabajo se puntualizó la necesidad e importancia de ofrecer un presupuesto inicial a la Junta administradora acueducto y/o alcantarillado Hatillo Barbosa, sobre el costo total de la obra que se busca desarrollar.

9 RECOMENDACIONES

En el presente trabajo; se diseñó un sistema de prevención de sedimentos para la potabilización del agua de consumo humano; cabe destacar que éste surge como una respuesta a una necesidad existente en la mayoría de acueductos rurales en Colombia; el cual consistía en ofrecer un diseño que resultara accesible y beneficioso para la misma.

Ante ello, es primordial el incentivar la continuidad del presente proyecto, investigando más a fondo la mayor variedad posible de información sobre las tecnologías disponibles para los sensores de densidad, y válvulas eléctricas; de manera que; se logre una versión aún más económica que la presentada en este proyecto; y así los acueductos rurales en Colombia que tengan bajos recursos; se puedan beneficiar también de dicho sistema.

A su vez, se recomienda, la presentación del presente proyecto a diversas instituciones que velan por la calidad del agua; como lo son los Ministerios y, entidades gubernamentales y no gubernamentales; para la financiación que se amerite en cada caso particular.

BIBLIOGRAFIA

- EEP de Medellín, Departamento de Tratamiento de Acueducto, FUNDAMENTOS PARA LOS PROCESOS DE POTABILIZACIÓN, Tomos I y II.
- REZZA Editores, SA. TRATADO DEL MEDIO AMBIENTE, Vol. II Págs. 148-157.
- Editorial Bruguera, CIENCIAS NATURALES, Vol. I Pág, 31-2
- Microsoft, ENCICLOPEDIA ENCARTA 98.
- Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Subgerencia de Sistema Delegados UEN, Gestión Acueductos Rurales. Conservación Ambiental. Costa Rica 2008.
- Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Subgerencia de Sistema Delegados UEN.
- Gestión Acueductos Rurales. Operación y Mantenimiento de Acueductos. Costa Rica 2008.
- Ordoñez Chiquitá, Juan. Cruz Roja Guatemalteca. Unidad Técnica Agua y Saneamiento. *Operación y mantenimiento de sistemas de agua*. Guatemala, junio 2002.
- Organización Mundial para la Salud. Manual Comunitario para la Mitigación de Desastres Naturales en sistemas rurales de agua potable. S/F.
- FUDIS - Fundación para el Desarrollo Integrado Sostenible. Manual Administración y Mantenimiento de Acueductos Rurales. Panamá 2008