

**EVALUACIÓN DE LA OPERACIÓN DE LA PLANTA TRATAMIENTO DE AGUA  
POTABLE SANTA ROSALÍA ZONA BANANERA**



**ARNOLD JESID DIAZ CHARRIS  
JAVIER EDUARDO FERNANDEZ VEGA**

**UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA  
SANTA MARTA  
2011**

**EVALUACIÓN DE LA OPERACIÓN DE LA PLANTA TRATAMIENTO DE AGUA  
POTABLE SANTA ROSALÍA ZONA BANANERA**

**ARNOLD JESID DIAZ CHARRIS  
JAVIER EDUARDO FERNANDEZ VEGA**

**Modalidad PROYECTO DE INVESTIGACION  
Trabajo de Grado presentado para optar al título de Ingeniero Ambiental y  
Sanitario**

**Director  
ALVARO CASTILLO M.  
Ingeniero Sanitario**

**UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA  
SANTA MARTA  
2011**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



---

**Firma del Jurado**

---

**Firma del Jurado**

Santa Marta DD/\_\_\_MM/\_\_\_AAAA/\_\_\_\_\_

## DEDICATORIA

*Quiero dedicar este trabajo a mi familia por acompañarme en cada uno de los caminos que he emprendido y ser siempre mis más fervientes hinchas.*

*A mis padres, por todo lo que me han dado en esta vida y por estar a mi lado en los momentos difíciles.*

*A mi hermana quien me acompañó en silencio con una comprensión a prueba de todo.*

*A mi esposa y a mi hijo por soportarme y estar siempre presente para seguir adelante.*

**Javier Fernández**

*Este trabajo quiero dedicarlo especialmente a mis padres que me brindaron todo el apoyo necesario e incondicional para llevar a cabo con éxito mis estudios.*

*A Dios por acompañarme en los momentos difíciles que se presentaron durante el transcurso de mi carrera y llenarme de fortaleza para seguir adelante.*

*A mi familia y amigos que siempre estuvieron ahí cuando necesite una razón para seguir adelante.*

**Arnold Díaz**



## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por acompañarnos siempre y por estar a nuestro lado en los buenos y malos momentos.

A todas las personas y entidades que hicieron posible la realización exitosa de este trabajo de grado.

También se agradece a los docentes y compañeros de la Universidad del Magdalena por los conocimientos compartidos y enseñados para nuestro desarrollo profesional y en especial al Ingeniero Álvaro Castillo Miranda nuestro director de tesis que siempre nos apoyó en la realización de este trabajo de grado.

Agradecemos a toda la comunidad de Santa Rosalía que nos brindó todo el apoyo y ayuda posible en la ejecución de este trabajo.

IAS  
00040  
EJA



## CONTENIDO

RESUMEN.....	17
INTRODUCCION.....	19
1. OBJETIVOS .....	20
1.1 Objetivo General.....	20
1.2 Objetivos Específicos .....	20
2. ANTECEDENTES .....	21
3. JUSTIFICACION .....	23
4. MARCO TEORICO.....	25
5. METODOLOGIA.....	29
5.1 Área de Estudio.....	29
5.1.1 Localización General.....	29
5.1.2 División Política y Administrativa.....	29
5.2 Característica General del Área de Estudio.....	30
5.2.1 Información Meteorológica.....	30
5.2.2 Turismo .....	31
5.2.3 Demografía .....	31
5.2.4 Economía.....	32
5.3 Descripción del Sistema de Abastecimiento.....	33
5.3.1 Bocatoma.....	33
5.3.2 Aducción .....	33
5.3.3 Desarenador .....	34
5.3.4 Conducción.....	34
5.4 Descripción del Sistema de Potabilización .....	34
5.4.1 Filtros .....	35
5.4.2 Desinfección.....	35
5.5 Descripción del Sistema de Distribución.....	35
6. ANÁLISIS DE PARÁMETROS OPERACIONALES .....	36

6.1	Calculo del Caudal de la Planta.....	36
6.2	Bocatoma .....	38
6.3	Desarenador.....	39
6.3.1	Evaluación de la Unidad Existente.....	39
6.4	Filtración.....	48
6.4.1	Calidad del Filtrado Inicial .....	49
6.4.2	Características del lecho Filtrante.....	51
6.4.3	Espesor de los Lechos de Arena y Antracita .....	59
6.4.5	Duración de lavado de los filtros .....	61
6.4.6	Expansión del Lecho Filtrante.....	61
6.5	Sistema de Desinfección .....	62
6.6	Infraestructura de Control de Calidad.....	64
6.7	Calidad de Agua Suministrada .....	65
7.	PROPUESTAS DE OPTIMIZACIÓN .....	71
7.1	Bocatoma .....	71
7.2	Desarenador.....	71
7.3	Filtración.....	78
7.4	Sistema de Desinfección .....	81
7.4.1	Dosificador de cabeza constante .....	81
8.	CONCLUSIONES.....	86
	BIBLIOGRAFIA.....	89
	ANEXOS.....	92



## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Proyecciones de población en el periodo 2005 – 2011.....	31
Tabla 2 Proyección de población para el periodo 2012 – 2021 .....	32
Tabla 3 Determinación del Caudal de la Planta.....	37
Tabla 4 Caudal Máximo Diario para los periodos 2011 – 2021 .....	42
Tabla 5 Comportamiento del filtro al inicio de la carrera.....	50
Tabla 6 Granulometría filtro 1 .....	52
Tabla 7 Granulometría filtro 2 .....	53
Tabla 8 Granulometría filtro 3 .....	54
Tabla 9 Granulometría filtro 4.....	55
Tabla 10 Granulometría filtro 5 .....	56
Tabla 11 Granulometría filtro 6 .....	57
Tabla 12 Características de la Arena y la Antracita.....	58
Tabla 13 Tamaño de granos para la Arena y la Antracita.....	58
Tabla 14 Espesor de los lechos de Arena y Antracita en cada filtro .....	59
Tabla 15 Porcentaje de Arena y Antracita del total de lecho filtrante en cada unidad .....	59
Tabla 16 Caudal de Lavado.....	60
Tabla 17 Porcentaje de expansión de los filtros .....	62
Tabla 18 Determinación de cloro residual antes de la optimización del sistema de desinfección.....	64
Tabla 19 Caracterización del agua cruda y tratada Mes de Enero 2010 (verano).65	
Tabla 20 Caracterización del agua cruda y tratada Mes de Febrero 2010 (verano) .....	65
Tabla 21 Caracterización del agua cruda y tratada Mes de Marzo 2010 (verano).66	
Tabla 22 Caracterización del agua cruda y tratada Mes de Abril 2010 (verano) ...	67
Tabla 23 Caracterización del agua cruda y tratada Mes de Mayo 2010 (verano)..	67
Tabla 24 Caracterización del agua cruda y tratada Mes de Junio 2010 (verano)..	68
Tabla 25 Caracterización del agua cruda y tratada Mes de julio 2010 (lluvia).....	68



Tabla 26 Caracterización del agua cruda y tratada Mes de Agosto 2010 (llovizna) ..	69
Tabla 27 Caracterización del agua cruda y tratada Mes de Septiembre 2010 (llovizna).....	69
Tabla 28 Turbiedad del agua de lavado a diferentes tiempos .....	78
Tabla 29 Caudal del dosificador con un solo orificio.....	82
Tabla 30 Caudal del dosificador con dos orificios.....	82
Tabla 31 Determinación de cloro residual después de la optimización del sistema de desinfección.....	85

## **LISTA DE GRAFICAS**

Grafica 1 Proyecciones de población en el periodo 2005-2011.....	32
Grafica 2 Periodo de recuperación del filtro después del lavado.....	50
Grafica 3 Proceso de lavado de los filtros.....	80

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Sistema de Captación.....	33
Figura 2 Planta de Tratamiento. ....	34
Figura 3 Bocatoma .....	38
Figura 4 Desarenador.....	39
Figura 3 Filtro a presión.....	48
Figura 6 Sistema de desinfección.....	63
Figura 7 Desarenador Propuesto.....	71

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO A ESQUEMAS GENERALES Y PLANTA .....	93
ANEXO B REGISTRO FOTOGRÁFICO.....	97





## GLOSARIO

**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 es apta y aceptable para el consumo humano y cumple con las normas de calidad de agua.

**Almacenamiento:** acción destinada a almacenar un determinado volumen de agua para cubrir los picos horarios y la demanda contra incendios.

**Análisis microbiológico del agua:** son los procedimientos de laboratorio que se efectúan a una muestra de agua para consumo humano para evaluar la presencia o ausencia, tipo y cantidad de microorganismos.

**Análisis básicos:** es el procedimiento que se efectúa para determinar turbiedad, color aparente, pH, cloro residual libre o residual de desinfectante usado, coliformes totales y Escherichia coli.

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

**Borde libre:** espacio comprendido entre el nivel máximo esperado del agua fijado por el sistema de rebose y la altura total de la estructura de almacenamiento.

**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 máximo diario:** consumo máximo durante veinticuatro horas, observado en un período de un año, sin tener en cuenta las demandas contra incendio que se hayan presentado.

**Caudal máximo horario:** consumo máximo durante una hora, observado en un período de un año, sin tener en cuenta las demandas contra incendio que se hayan presentado.

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

**Cloro residual libre:** es aquella porción que queda en el agua después de un período de contacto definido, que reacciona química y biológicamente como ácido hipocloroso o como ión hipoclorito.

**Coliformes:** bacterias Gram Negativas en forma bacilar que fermentan la lactosa a temperatura de 35 a 37°C, produciendo ácido y gas (CO<sub>2</sub>) en un plazo de 24 a 48 horas. Se clasifican como aerobias o anaerobias facultativas, son oxidasa negativa, no forman esporas y presentan actividad enzimática de la  $\beta$  galactosidasa. Es un indicador de contaminación microbiológica del agua para consumo humano.

**Color aparente:** es el color que presenta el agua en el momento de su recolección sin haber pasado por un filtro de 0.45 micras.

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

**Desarenador:** componente destinado a la remoción de las arenas y sólidos que están en suspensión en el agua, mediante un proceso de sedimentación mecánica.

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

**Desinfectante:** sustancia que tiene el poder de destruir microorganismos patógenos.

**Dotación:** cantidad de agua asignada a una población o a un habitante para su consumo en cierto tiempo, expresada en términos de litro por habitante por día o dimensiones equivalentes.

**Escherichia Coli - E-coli:** bacilo aerobio Gram Negativo no esporulado que se caracteriza por tener enzimas específicas como la  $\beta$  galactosidasa y  $\beta$



glucoronidasa. Es el indicador microbiológico preciso de contaminación fecal en el agua para consumo humano.

**Filtración:** proceso mediante el cual se remueve las partículas suspendidas y coloidales del agua al hacerlas pasar a través de un medio poroso.

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

**Lecho de filtración:** medio constituido por material granular poroso por el que se hace percolar un flujo.

**Mantenimiento:** conjunto de acciones que se ejecutan en las instalaciones y/o equipos para prevenir daños o para la reparación de los mismos cuando se producen.

**Norma de calidad del agua potable:** valores de referencia admisibles para algunas características presentes en el agua potable, que proporcionan una base para estimar su calidad.

**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.

**Pantalla:** guía o mecanismo similar para desviar la dirección del agua.

**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.

**Población servida o atendida:** es el número de personas abastecidas por un sistema de suministro de agua.

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

**Rejilla:** dispositivo instalado en una captación para impedir el paso de elementos flotantes o sólidos grandes.

**Tanque de almacenamiento:** depósito destinado a mantener agua para su uso posterior.

**Tasa de aplicación superficial (carga superficial):** relación entre el caudal y el área superficial de una determinada estructura hidráulica ( $m^3/m^2.día$ ).

**Tiempo de contacto para el desinfectante:** es el tiempo requerido desde la aplicación del desinfectante al agua hasta la formación como producto del residual del desinfectante, de forma que esa concentración permita la inactivación o destrucción de los microorganismos presentes en el agua.

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

**Unidad de la planta de tratamiento:** cada uno de los procesos de tratamiento.

**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.

**Velocidad de filtración:** caudal de filtración por unidad de área.

**Velocidad de lavado:** caudal de lavado por unidad de área.

## RESUMEN

El presente documento contiene los procedimientos realizados y los resultados obtenidos en la evaluación de la planta de tratamiento de agua para consumo humano del corregimiento de Santa Rosalía, Zona Bananera (Magdalena - Colombia), implementando la metodología establecida por la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización Panamericana de la Salud (OPS), y el CEPIS, y acogida por el Ministerio de Salud de Colombia en el año 1989, para la evaluación, operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas para consumo humano.

Con la colaboración del municipio se recopiló la información preliminar necesaria, y partiendo de un trabajo de campo basado en muestreos se determinó la calidad del agua que abastece el municipio, comparándola con las estipuladas en resolución 2115 del 22 de junio de 2007. Posteriormente se realizaron inspecciones a la infraestructura actual con el fin de determinar fallas y en caso de presentarse proponer soluciones.



## ABSTRACT

The following document contains the procedures made and the results obtained in the evaluation of the treatment plant for drinking water from the town of Santa Rosalía, Zona Bananera (Magdalena - Colombia), implementing the methodology established by the World Health Organization (WHO), Pan American Health Organization (PAHO), and CEPIS, and hosted by the Ministry of Health of Colombia in 1989, for evaluation, operation and maintenance of water treatment plants for human consumption.

With the collaboration of the municipality were collected the necessary preliminary information, and based on field work samples was determined the quality of water that supplies the town, compared with those stipulated in resolution 2115 of June 22, 2007. Subsequently inspections of the existing infrastructure were conducted in order to determine failures and possible solutions.



## INTRODUCCION

El agua potable es una necesidad básica fundamental que aún no es accesible para los sectores más pobres del país. Debido a la gran importancia que tiene el agua para la vida y conscientes de las limitaciones técnicas de la junta administradora del acueducto de Santa Rosalía de brindar agua potable, surgió la idea de evaluar la operación de la planta de potabilización, con el propósito de brindarle solución a los problemas más significativos de dicha planta de tratamiento.

La evaluación se desarrolló siguiendo los criterios establecidos en los módulos elaborados por la O.M.S. (15), en los cuales se plantean aspectos tan importantes como la operación de las unidades de captación, conducción, coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección.

Es importante detallar, inicialmente, la infraestructura existente en el acueducto que nos ocupa: Captación, desarenador, conducción, filtración, cloración, almacenamiento y distribución.

Al final del presente documento se presentan las conclusiones generales y específicas y las recomendaciones pertinentes, con el fin de que el ente responsable del servicio público de agua en Santa Rosalía realice las modificaciones del caso y, con ello, garantice el correcto funcionamiento de la planta de potabilización.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1 Objetivo General**

Evaluar los procedimientos de la operación de la planta de potabilización de Santa Rosalía Zona Bananera-Magdalena.

### **1.2 Objetivos Específicos**

- Evaluar cada una de los componentes del acueducto, que inciden en el proceso de potabilización del agua: Bocatoma, Desarenador, Conducción, Filtración, Cloración y Almacenamiento.
- Comparar los criterios de diseño y parámetros de operación de la planta con lo establecido en el RAS 2000.
- Identificar las fallas existentes en el proceso de potabilización y plantear soluciones realizables a corto, mediano y largo plazo.



## 2. ANTECEDENTES

El acceso al agua potable es fundamental para la salud, uno de los derechos fundamentales. Las enfermedades relacionadas con la contaminación del agua de consumo tienen una gran repercusión en la salud pública; por lo tanto, las medidas destinadas a mejorar la calidad del agua de consumo humano proporcionan beneficios significativos para la salud.

La importancia del agua, el saneamiento y la higiene para la salud y el desarrollo ha quedado reflejada en los documentos finales de diversos foros internacionales, entre ellos, conferencias relativas a la salud pública, como la Conferencia Internacional sobre Atención Primaria de Salud, que tuvo lugar en Alma Ata, Kazajstán (ex Unión Soviética) en 1978.

De igual importancia son las conferencias sobre el agua, como la Conferencia Mundial sobre el Agua en Mar del Plata (Argentina) de 1977, que dio inicio al Decenio Internacional del Agua Potable y del Saneamiento Ambiental, así como a los Objetivos de Desarrollo del Milenio aprobados por la Asamblea General de las Naciones Unidas (ONU) en 2000 y el documento final de la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible de Johannesburgo de 2002.

Más recientemente, la Asamblea General de las Naciones Unidas declaró el periodo de 2005 a 2015 como Decenio Internacional para la Acción «El agua, fuente de vida» (14).

A partir de la década de los setenta el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria, CEPIS, publicó una serie de documentos técnicos para la evaluación de plantas de tratamiento de agua potable.

Ante la preocupación del gobierno Colombiano por la calidad del agua potable y el estado del tratamiento de la misma, la Dirección de Saneamiento Ambiental del Ministerio de Protección Social, la representación de la OPS en Colombia y el CEPIS solicitaron, a finales de la década de los setenta, al Departamento de Control de la Contaminación del Agua la elaboración de un programa de control de calidad del agua potable, en el cual se analizaron las características del agua y los diversos factores que inciden en la calidad y cantidad de agua suministrada, dentro de la Vigilancia y el Control de la calidad del agua en Colombia (6).

En el año de 1980 el CEPIS preparó un programa general de tecnificación en esta área. Con el Ingeniero de la OPS en Colombia realizó el primer curso de Evaluación de Plantas de Tratamiento de Agua, cuyo objetivo principal era la detección de los problemas relacionados con el diseño, operación, mantenimiento y administración de plantas de tratamiento de agua y la planificación y ejecución de acciones de control de calidad de agua (7).

### 3. JUSTIFICACION

La evaluación del sistema de abastecimiento de agua potable del corregimiento de Santa Rosalía, del municipio de Zona Bananera, en el Departamento del Magdalena, sirve como inicio a investigaciones que promueven el mejoramiento y la optimización de los procesos de potabilización de estas zonas apartadas y olvidadas de nuestro Departamento.

El agua como recurso natural y de vital importancia para el desarrollo de los seres humanos debe ser un asunto de extrema prioridad al momento de abordar la temática de potabilización de este recurso, y debe serlo porque el solo hecho de ser consumida en sus condiciones naturales está generando enfermedades que afectan a las poblaciones más vulnerables y menos favorecidas, como es el caso que ocupa esta investigación.

Para abordar esta problemática se hace necesario dar soluciones eficaces y viablemente económicas, teniendo en cuenta el tipo de población que se verá beneficiada al implementarlas.

Desde el punto de vista de la ingeniería es importante evaluar, diagnosticar y optimizar los procesos de potabilización que se llevan a cabo en las plantas de tratamiento de estos corregimientos para alcanzar niveles establecidos para su consumo.

Una de las principales razones por las que este tipo de investigaciones juegan un papel importante dentro de la academia es que establecen bases y parámetros para la medición de variables que promuevan la reglamentación de políticas en donde los mayores beneficiados serían los habitantes de estas regiones menos favorecidas, en donde se acentúa más aun este tipo de problemática teniendo

como principal resultado el mejoramiento de la calidad de vida y la minimización de los impactos negativos ocasionados por el consumo de agua de mala calidad.

*la falta de un sistema de alcantarillado*

Pero, sin lugar a dudas, la principal razón por la cual este trabajo justifica su realización, es la de crear una base teórica y práctica que sirva para implementar soluciones aplicables a este tipo de regiones, para que se ajusten a sus planes de desarrollo, y se traduzca en el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes.



#### 4. MARCO TEORICO

El 70% de la superficie de la Tierra es agua; de ese porcentaje, un 97.5% es salada y el restante es agua dulce. Del 2.55% de agua dulce, casi el 70% se encuentra concentrada en los hielos polares y témpanos, un 29% está almacenado en las profundidades de la tierra y el 1% restante en los ríos, lagos, pantanos, suelo, embalses, la atmósfera y en organismos vivos.

El mundo en que vivimos se encuentra cubierto, en su gran mayoría, por agua; sin embargo, debido a la contaminación que los seres humanos creamos, el porcentaje apto para nuestro consumo es cada día menor. Más de 1.100 millones de personas no tienen garantizado el acceso a agua potable y 2.400 millones no disponen de servicios básicos de saneamiento. Como consecuencia de esta crisis se estima que más de 10.000 personas, en su mayoría niños, mueren cada día en el mundo al haberse degradado y envenenado los ríos, lagos y acuíferos de los que tradicionalmente se abastecían.

La región de América Latina y el Caribe son muy ricos en recursos hídricos. Los ríos Amazonas, Orinoco, Sao Francisco, Paraná y Magdalena transportan más del 30% del agua superficial continental del mundo. Con el 12% del área terrestre y 6% de la población, la Región recibe alrededor del 27% de la escorrentía total, la mayor parte concentrada en las cuencas del Amazonas.

Durante la última década, los problemas ambientales relacionados con el agua han aumentado tanto en zonas urbanas como rurales, debido a la contaminación con fertilizantes y plaguicidas, la deforestación, las aguas negras vertidas a las fuentes superficiales, trayendo consigo enfermedades infecciosas como la cólera, tifoidea y gastroenteritis, según estudios de OPS/OMS en el año 2005 (20).

Para la mayoría de las personas de escasos recursos económicos en nuestro país, es casi un privilegio contar con servicios públicos que satisfagan de manera primaria sus necesidades básicas; necesidades tan básicas como obtener agua de buena calidad.

En el año 2004, la población con acceso a agua potable y a un saneamiento adecuado representaba el 93% y el 86%, respectivamente (21). La población rural, que representa aproximadamente el 23% de la población total del país, mostraba las tasas de cobertura más bajas, ya que sólo el 71% tenía acceso a agua potable (22).

La cobertura es menor en la Costa Atlántica, en la Orinoquía y en la Amazonía, Entre 1990 y 2004, el acceso al agua potable aumentó ligeramente del 92% al 93%, (*Meeting the MDG drinking water and sanitation target: the urban and rural challenge of the decade*. Ginebra, Suiza).

Según una encuesta de la Superintendencia de Servicios Públicos (SSPD) en 2004, el 72% de los usuarios tenía agua de calidad potable, y el 28% tenía agua de calidad no potable; pero estudios posteriores, realizados por la Defensoría del Pueblo en 2007, revelaron que 16,7 millones de colombianos no recibieron agua apta para consumo humano, de acuerdo con los análisis fisicoquímicos y microbiológicos reportados por las secretarías de salud. (Defensoría del Pueblo: Tercer diagnóstico sobre calidad de agua para consumo humano, 2007, p. 35).

En Colombia, las difíciles condiciones de abastecimiento de agua y saneamiento para la población tienen que ver con la baja capacidad de gestión de los entes prestadores de los servicios, la poca efectividad de los recursos invertidos y los bajos incentivos por parte de los municipios para utilizar recursos del Sistema General de Participaciones -SGP en ese tipo de zonas. (Lineamientos de política de agua potable y saneamiento básico para la zona rural de Colombia).



La problemática que atraviesan muchos administradores de acueductos municipales genera, como consecuencia, la ineficiencia en los procesos y operaciones de tratamiento: operación, mantenimiento y rendimiento óptimo de potabilización, que traen consigo diversos problemas que afectan directamente a la población o usuarios de la red de distribución, debido a que si el agua que se les suministra no cumple con los parámetros de calidad impuestos por la legislación colombiana traerá impactos negativos sobre la salud de los habitantes que se benefician del servicio.

Por la anterior reflexión, la autoridad competente debe realizar monitoreo a la calidad del agua suministrada a la población, con el fin de vigilar que la administración de cada acueducto este cumpliendo con lo estipulado en la Resolución 2115 de 2007, expedida por el Ministerio de Protección Social.

Teniendo en cuenta la situación anteriormente descrita, en nuestro país son varias las investigaciones realizadas para determinar los parámetros operacionales y de diseño de los sistemas de abastecimiento de agua potable, identificando los principales problemas que influyen en los procesos de potabilización para su posterior diseño y futura optimización. Es así como en las plantas de tratamiento de agua potable de los municipios de Valle de San Juan (Tolima), Cerro de San Antonio (Magdalena) y de la ciudad de Santa Marta (Magdalena) se han realizado investigaciones que han arrojado resultados y recomendaciones importantes que sirven de base para la toma de decisiones acertadas, en el mejoramiento de los sistemas de tratamiento de agua potable y por ende una notable mejoría en la calidad del agua tratada.

Actualmente no existen investigaciones realizadas al sistema de abastecimiento de agua potable del corregimiento de Santa Rosalía, referidas a los criterios de diseño y operación.

Teniendo en cuenta que en varias plantas de tratamiento de agua potable se han realizado evaluaciones de los parámetros operacionales y se ha procedido a optimizar las unidades, con resultados satisfactorios, entonces, la evaluación planteada contribuirá con la información necesaria para optimizar los procesos y unidades de tratamiento en la planta de potabilización, que conllevará a mejorar la calidad del agua suministrada.



## **5. METODOLOGIA**

### **5.1 Área de Estudio**

#### **5.1.1 Localización General**

La información que se muestra a continuación fue suministrada por la Alcaldía Municipal de la Zona Bananera - Prado Sevilla (2).

El corregimiento de Santa Rosalía está localizado al norte del Departamento del Magdalena, limitando por el Norte con el corregimiento de la Gran Vía; al Sur con el corregimiento de Prado Sevilla; al Oriente con la vereda San Javier (pie de monte Sierra Nevada de Santa Marta) y al Occidente con el corregimiento de Palomar. Los límites señalados están dados por la Asamblea Departamental del Magdalena mediante la Ordenanza No. 011 del 9 de Agosto de 1.999 y aprobada por la Gobernación del Magdalena por medio del Decreto No. 0443 del 3 de Agosto del 2000.

El Corregimiento se encuentra a 43Km. de la capital del Departamento del Magdalena, Santa Marta, y a 35km. de la cabecera municipal, Prado Sevilla. Se encuentra localizada entre los paralelos 10° 39' y 10° 55' Latitud Norte y entre los meridianos 74° 06' y 74° 17' oeste de Greenwich y a una altura de 30m sobre el nivel del mar.

#### **5.1.2 División Política y Administrativa**

El corregimiento Santa Rosalía está conformado por siete (7) veredas: La Mojana, Tagual, El Oasis, Campo Bretaña, La Tigra, 23 de Abril y Mate caña.

## **5.2 Característica General del Área de Estudio**

### **5.2.1 Información Meteorológica**

Temperatura máxima: 30.1°C

Temperatura mínima: 26.6°C

Precipitación: En el municipio Zona Bananera la precipitación promedio anual está entre 900 – 1500 mm/año.

Radiación solar: La radiación solar promedio anual en Zona Bananera es de 2.394.7 horas/sol; lo que nos da un equivalente mensual de 199.6 horas/sol. El promedio de Brillo Solar diario es de 7 horas/día.

Velocidad del viento: En la climatología de la Zona Bananera un factor muy importante es el viento, que desde Marzo hasta Noviembre puede manifestarse en forma de vendavales o mejor ventarrones más o menos desastrosos para la industria bananera.

Humedad relativa: La sensación de calor o frío que experimenta la piel humana depende de la cantidad relativa de vapor de agua contenida en el aire. El promedio anual es de 82%.

Evaporación: En Zona Bananera la evaporación promedio mensual es de 13 mm, y es mayor en el primer semestre del año concordando con la época seca.

## 5.2.2 Turismo

El Municipio Zona Bananera esta bañado por unos caudalosos Ríos, razón por la cual su eje turístico se encuentra en estos recursos. En el municipio se tienen los siguientes sitios de interés turístico:

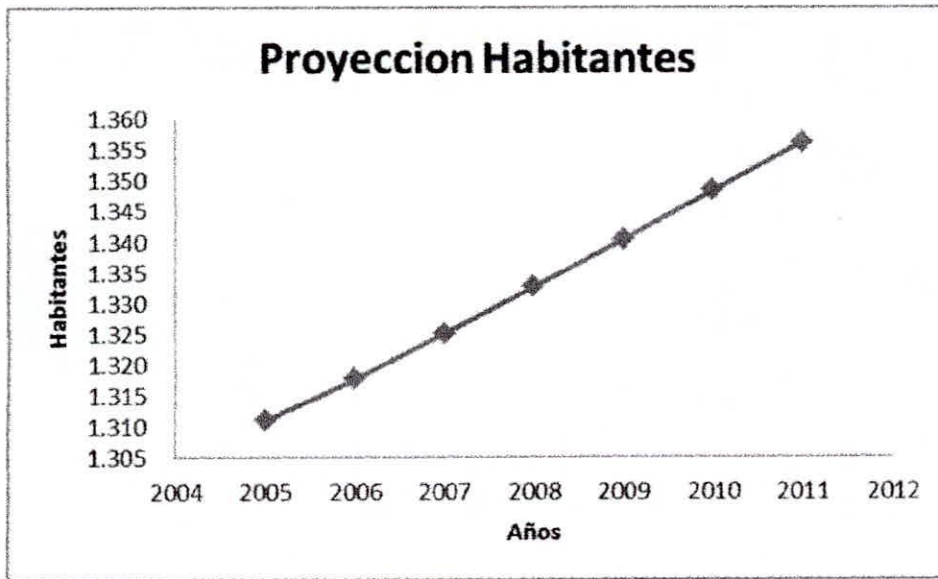
- Balneario del Túnel, en el Corregimiento de Río Frío; se puede decir que es el principal sitio turístico del Municipio.
- Balneario de San José, en la Vereda San José de Kennedy.
- Balneario de Santa Rosalía, en el Corregimiento de Santa Rosalía; cuenta con una hermosa Cascada.
- Balneario de Guacamayal, en el Corregimiento de Guacamayal.

## 5.2.3 Demografía

En la Tabla 1 se muestra la proyección de la población para el periodo 2005 - 2011 en el corregimiento de Santa Rosalía, Zona Bananera con base en el Censo elaborado por el DANE en año 2005 (16).

**Tabla 1 Proyecciones de población en el periodo 2005 – 2011**

Años	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Habitantes	1,311	1,318	1,325	1,332	1,340	1,348	1,356



**Grafica 1 Proyecciones de población en el periodo 2005-2011**

Extrapolando por el método aritmético (19) la proyección poblacional comprendida entre 2005 – 2011 y asumiendo linealidad se obtiene la población para el periodo 2012-2021 (ver tabla 2).

**Tabla 2 Proyección de población para el periodo 2012 – 2021**

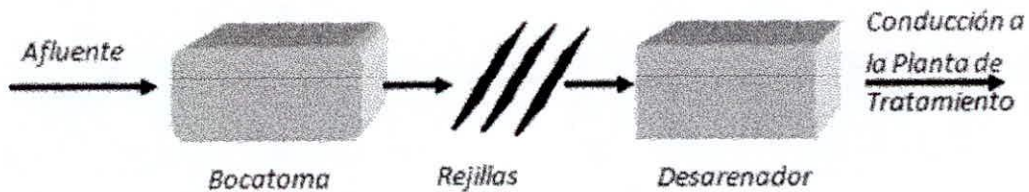
Años	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Habitantes	1,360	1,365	1,369	1,374	1,378	1,383	1,387	1,392	1,396	1,401

#### 5.2.4 Economía

La Economía del corregimiento de Santa Rosalía se basa principalmente en la Agricultura (Banano, Palma, Pancoger), seguido por la Ganadería y el Comercio.



### 5.3 Descripción del Sistema de Abastecimiento



**Figura 1 Sistema de Captación**

El acueducto de Santa Rosalía, se abastece de agua captada de la quebrada La Mojana, ubicada aguas arriba del corregimiento.

A continuación se hace una descripción general de la infraestructura del acueducto del Corregimiento.

#### 5.3.1 Bocatoma

Para la captación del agua cruda de la quebrada la Mojana se utiliza una bocatoma tipo lateral, con rejilla, la cual evita el paso de material grueso al desarenador. La bocatoma tiene un ancho de 0.80m y una profundidad en la represa de 0.70m.

#### 5.3.2 Aducción

La distancia entre la captación y el desarenador es de 72m. La aducción |la constituye una tubería de PVC, de 6" de diámetro.

### 5.3.3 Desarenador

Existe un desarenador de tipo convencional; sus dimensiones son 4.00m de largo, 1.00m de ancho y 2.45m de profundidad.

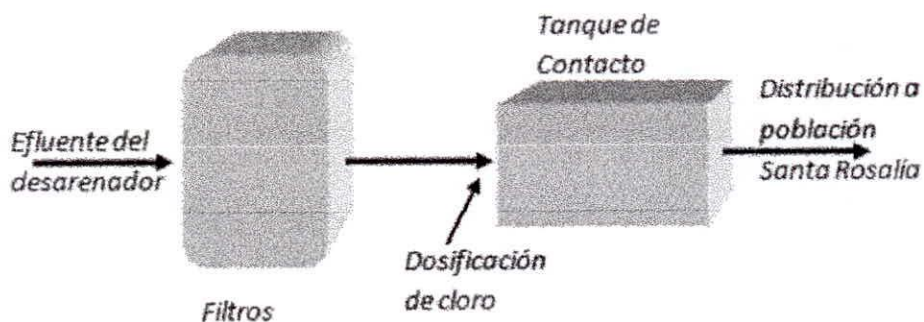
La unidad posee un rebose, hacia la quebrada, para evacuar el caudal de exceso. El rebose se encuentra localizado a 0.10m del borde superior de uno de los muros laterales de la entrada y consiste en una tubería de 6".

El desarenador cuenta con una pantalla deflectora, no perforada, y su sistema de evacuación de lodos está conformado por una tubería de 4", con su respectiva compuerta.

### 5.3.4 Conducción

El agua efluente del desarenador es conducida por gravedad hacia la planta por una tubería de PVC de 6" pulgadas de diámetro y 1000 metros de longitud.

## 5.4 Descripción del Sistema de Potabilización



**Figura 2 Planta de Tratamiento.**

La planta de tratamiento de agua potable del corregimiento de Santa Rosalía es una planta de tipo convencional simplificada, trabaja con un caudal de 9.86l/seg. Las unidades que componen cada una de las etapas de potabilización en la planta se describen a continuación.

#### **5.4.1 Filtros**

La planta de potabilización cuenta con una batería de seis filtros a presión, de tasa variable declinante, de auto lavado, instaladas en paralelo, de tal manera que cada una pueda operar con un caudal promedio de 1.64l/s.

La entrada de agua a cada filtro se realiza por una tubería de dos pulgadas (2") de diámetro y la salida del agua filtrada se hace mediante una tubería de interconexión de filtros de seis pulgadas (6") de diámetro.

#### **5.4.2 Desinfección**

Se realiza mediante la adición de hipoclorito de calcio, con una dosis de 200g por día, que se disuelven en un tanque de 500 litros, ubicado en la parte superior del tanque de contacto, para luego ser vertidos directamente en éste.

Tanque de Contacto: el municipio cuenta con un tanque de contacto, superficial, ubicado a un costado de la planta de tratamiento, con un volumen total de 200m<sup>3</sup>. El tanque en su interior está dividido por tres muros que van a todo lo ancho, con el fin de permitir un tiempo de contacto con el desinfectante.

#### **5.5 Descripción del Sistema de Distribución**

Se cuenta con una red de distribución de 3.5Km aproximadamente para el suministro de agua potable al corregimiento, la cobertura del servicio en la

población es del 92.6%. Esta red esta conforma por una red primaria y por acometidas domiciliarias, cuyos diámetros oscilan entre 4" al inicio y 2" al final en la red primaria y de 3/4" a 1/2" las acometidas domiciliarias, toda esta tubería en material de PVC.

## 6 ANÁLISIS DE PARÁMETROS OPERACIONALES

### 6.1 Calculo del Caudal de la Planta

Para determinar el caudal de la planta se utilizó el método volumétrico: Se tomó una altura  $\Delta h$  "seca" dentro del tanque de contacto y se tomó el tiempo en que el agua ocupó este diferencial de altura.

Con las dimensiones del tanque y con el diferencial de altura asumido se calculó el volumen de agua contenida en esa sección del tanque. Con este dato y el tiempo tardado en ocuparse ese volumen se procedió a calcular el caudal de la planta por el método volumétrico.

$$\Delta h = 0.20m$$

$$\text{ancho del tanque} = 4.95m$$

$$\text{largo del tanque} = 14.42m$$

En la tabla 3 se muestran los distintos caudales obtenidos a partir del tiempo que tarda el agua en ocupar el diferencial de altura





**Tabla 3 Determinación del Caudal de la Planta**

$\Delta h$ (m)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Tiempo (s)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
0.20	14.2758	1447.2	0.0098
0.20	14.2758	1468.2	0.0097
0.20	14.2758	1433.4	0.0099
Caudal Promedio			0.00986

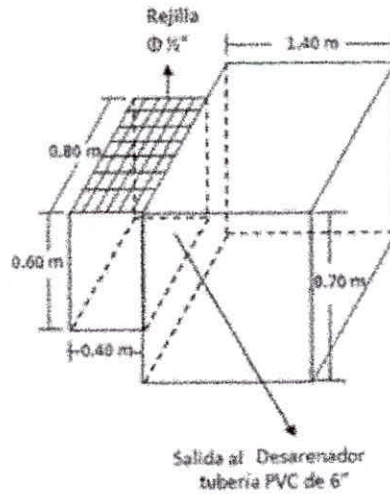
$$tiempo = 24.12 \text{ min} = 1447.2 \text{ s}$$

$$volumen \text{ de la seccion seleccionada} = 0.20\text{m} \times 4.95\text{m} \times 14.42\text{m} = 14.2758 \text{ m}^3$$

$$caudal \text{ de la planta} = \frac{14.2758 \text{ m}^3}{1447.2 \text{ s}} = 0.00986 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_p = 0.009867 \text{ m}^3/\text{s} = 9.86 \text{ l/s}$$

## 6.2 Bocatoma



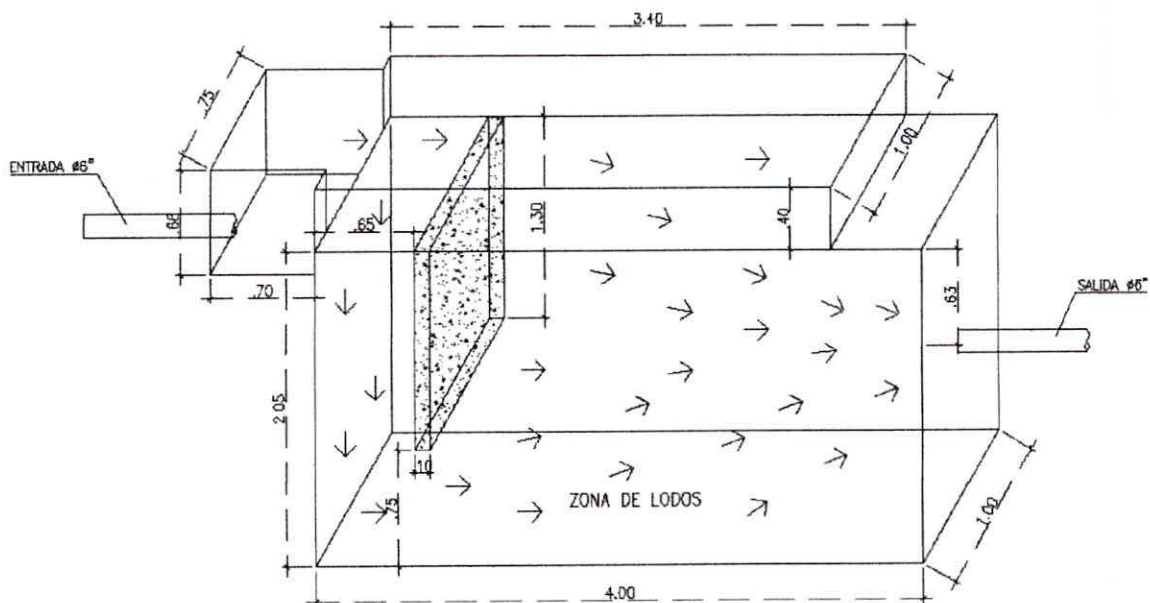
**Figura 3 Bocatoma**

El acueducto tiene una captación tipo lateral, que recibe el agua a través de dos tamices. El agua captada pasa a una tubería de 6" que la conduce inmediatamente al tratamiento primario con el desarenador.

La bocatoma está provista por dos rejillas. La primera es de varillas redondas de 1/2", formando cuadrículas de 80mm por 180mm aproximadamente. La finalidad de esta unidad es impedir el acceso de los elementos más gruesos o flotantes. La segunda es una malla de 3mm aproximadamente, la cual tiene como fin evitar el acceso de los elementos de arrastre y los peces.

En cuanto a lo establecido por los aspectos particulares de las captaciones laterales del RAS 2000 (17), la primera rejilla no cumple con los criterios de diseño, en cuanto a la separación entre barrotes, que deben estar entre 20mm a 25mm. Esta unidad tampoco cuenta con una compuerta que permita la realización de las operaciones de limpieza y mantenimiento.

### 6.3 Desarenador



**Figura 4 Desarenador**

La planta de tratamiento de agua potable de Santa Rosalía cuenta con un desarenador de un sólo módulo. Teniendo en cuenta los parámetros de diseño del RAS 2000 (17), en la planta debe existir un desarenador con dos módulos como mínimo, que operen de forma independiente, cada uno de ellos dimensionado para el caudal máximo diario (QMD), ante la posibilidad de que uno de los dos quede fuera de servicio.

#### 6.3.1 Evaluación de la Unidad Existente

La evaluación del módulo, para la remoción de partículas discretas, se evalúa con los parámetros de diseño estipulados por el RAS 2000 (17) para desarenadores.

- **Dotación**

En la determinación del caudal que requiere la población para cada año, según las proyecciones poblacionales en el Corregimiento de Santa Rosalía, se utilizan los criterios establecidos en los índices A, B y C del RAS 2000 (17).

La población en la zona urbana del Corregimiento de Santa Rosalía es menor de 2500 habitantes, según la proyección municipal para el año 2010 (ver tabla 1), por lo cual el nivel de complejidad es bajo (17).

La dotación neta (cantidad máxima de agua para satisfacer las necesidades de un habitante sin considerar perdidas en la red) es de 150 litros/habitante\*día según la tabla B.2.2 del RAS 2000 (17) de acuerdo al nivel de complejidad.

Asumiendo un porcentaje de variación a la dotación neta según el clima y el nivel de complejidad del sistema del 15% según la tabla B.2.3 titulo B del RAS 2000 (17), la dotación bruta viene dada por:

*Dotacion neta corregida*

$$150 \frac{l}{hab * dia} + \left( 150 \frac{l}{hab * dia} * 0.15 \right) = 172.5 \frac{l}{hab * dia}$$

Dotación Bruta:

$$d_{bruta} = \frac{d_{neta}}{1 - \%p}$$

$\%p$  = % de perdidas tecnicas segun el nivel de complejidad tabla B.2.4 RAS 2000

$d_{neta}$  = dotacion neta carregida

$$d_{bruta} = \frac{172.5 l/hab * dia}{1 - 0.4} = 287.5 l/hab * dia$$



El Caudal Medio Diario ( $Q_{md}$ ) es el caudal medio calculado para la población proyectada, teniendo en cuenta la dotación bruta asignada. Corresponde al promedio de los consumos diarios en un período de un año y puede calcularse mediante la siguiente ecuación

$$Q_{md} = \frac{p \cdot d_{bruta}}{86400}$$

$p$  = población proyectada

$d_{bruta}$  = dotación bruta

$$Q_{md} = \frac{1,348 \text{ hab} \cdot 287.5 \text{ l/hab} \cdot \text{dia}}{86400} = 4.48 \text{ l/s}$$

El caudal máximo diario, QMD, corresponde al consumo máximo registrado durante 24 horas en un período de un año. Debido a que no existe registro de consumo es necesario calcular este parámetro.

$$QMD = Q_{md} \cdot k_1$$

$Q_{md}$  = caudal medio diario

$k_1$  = Coeficiente de consumo máximo diario, según el Nivel de Complejidad

según la tabla B.2.5 RAS 2000

$$QMD = 4.48 \text{ l/s} \cdot 1.30 = 5.82 \text{ l/s}$$

La planta de potabilización del corregimiento de Santa Rosalía debe estar en capacidad de tratar el Caudal Máximo Diario (QMD) requerido por la población futura. En la tabla 4 se relacionan los QMD calculados para cada año según la población proyectada en los periodos 2011 – 2021.

**Tabla 4 Caudal Máximo Diario para los periodos 2011 – 2021**

Año	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
QMD (l/s)	5.87	5.88	5.90	5.92	5.94	5.96	5.98	6.00	6.02	6.04	6.06

- **Pantalla Deflectora**

La pantalla deflectora con la que cuenta la unidad es una mampara no perforada, transversal a la dirección del flujo y a todo lo ancho del desarenador, en la cual el agua se induce a entrar por el fondo (zona de lodos). La salida está ubicada de tal forma que las líneas de flujo se distribuyen en busca de la tubería de salida (ver figura 4), lo que ocasiona cortocircuitos en la unidad; esto se debe a que no está definida estructuralmente la zona de entrada y la zona de salida.

- **Zona de Sedimentación**

La literatura técnica recomienda que la relación entre la longitud útil del desarenador y la profundidad efectiva para almacenamiento de arena sea 10 a 1. Además, la profundidad efectiva para el almacenamiento de arena en el desarenador debe estar comprendida entre 0.75m y 1.50m (17).

La longitud útil del desarenador es de 3.35m. Al aplicarle la relación de longitud útil con respecto a la altura del depósito de arena, ésta debería ser de 0.33m. En el sistema existente esta profundidad es de 0.75m, con lo cual se asegura un almacenamiento de arena superior al recomendado por el RAS.

El área superficial real de la Zona de Sedimentación:

$$A_s = b * l$$

b = ancho del desarenador

$l =$  longitud util del desarenador

$$A_s = 1 \text{ m} * 3.35 \text{ m} = 3.35 \text{ m}^2$$

El volumen total:

$$V_{total} = h * A_s$$

$A_s =$  area superficial

$h =$  profundidad de la zona de sedimentacion

$$V_{total} = 1.70 \text{ m} * 3.35 \text{ m}^2 = 5.70 \text{ m}^3$$

Los periodos de retención hidráulicos deben estar comprendidos entre 0.5h y 4h (13). Para un caudal de 4.48l/s que es el caudal máximo diario para el año del 2010 el tiempo de retención (t) en la zona es:

$$\theta = \frac{V}{Q}$$

$V =$  volumen total

$Q =$  caudal maximo diario

$$\theta = \frac{5700 \text{ l}}{4.48 \text{ l/s}} = 1272.32 \text{ seg} = 0.35 \text{ h (No Cumple)}$$

La carga hidráulica superficial debe estar comprendida entre 15m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.día y 80m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> día (13). Para un caudal de 4.48l/s que es el caudal máximo diario para el año del 2010, la carga hidráulica superficial (q) es:

$$q = \frac{Q}{A_s}$$

$A_s$  = area superficial

$Q$  = caudal máximo diario

$$q = \frac{0.00448 \text{ m}^3/\text{s}}{3.35 \text{ m}^2} = 0.00133 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{s} = 115.54 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{ dia (No Cumple)}$$

Teniendo en cuenta el tiempo de funcionamiento del desarenador y las condiciones de operación del mismo, el valor de la carga hidráulica superficial no cumple debido a que al final del periodo de diseño este valor tiende a ser alto y al comienzo tendera al límite inferior (13).

Velocidad de Sedimentación ( $V_s$ ):

De la tabla 9.3 del libro Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillado (13) se obtiene el Numero de Hazen ( $V_s/V_o$ ) de 3.00, asumiendo el grado del desarenador  $n=1$  deflectores deficiente y un porcentaje de remoción del 75%.

El tiempo que tarda la partícula en llegar al fondo es:

$$\frac{\theta}{t} = 3.00$$

$\theta$  = periodo de retencion hidraulico

$$t = \frac{0.35 \text{ h}}{3.00} = 0.116 \text{ h} = 418 \text{ s}$$

$$V_s = \frac{H}{t}$$

$t$  = tiempo de retencion

$H$  = la distancia maxima que la partícula alcanza recorrer



$$V_s = \frac{2.45 \text{ m}}{418 \text{ s}} = 0.0058 \text{ m/s} = 0.58 \text{ cm/s}$$

El diámetro de las partículas discretas de peso específico  $2.65 \text{ gr/cm}^3$  en un régimen laminar a temperatura de  $24^\circ\text{C}$  que logran sedimentarse a la velocidad crítica de diseño de la unidad es:

$$V_s = \frac{g}{18} * \frac{(Ss - 1)d^2}{\nu} \text{ Ecuacion de Stokes}$$

$V_s = \text{velocidad de sedimentacion cm/s}$

$g = \text{aceleracion de la gravedad cm}^2/\text{s}$

$Ss = \text{densidad especifica de la particula}$

$\nu = \text{viscosidad cinematica del agua cm}^2/\text{s}$

$$0,58 \text{ cm/s} = \frac{980}{18} * \frac{(2.65 - 1)d^2}{0,00917 \text{ cm}^2/\text{s}}$$

$$d = 0.008 \text{ cm}$$

La carga hidráulica superficial es igual a la velocidad de sedimentación de la partícula crítica en condiciones teóricas,  $V_o$  la cual debe corresponder a la de un diámetro menor.

$$V_o = q = 0.00133 \text{ m/s} = 0.133 \text{ cm/s}$$

Diámetro de la partícula crítica:

$$V_o = \frac{g}{18} * \frac{(Ss - 1)d^2}{\nu} \text{ Ecuacion de Stokes}$$

$V_o = \text{velocidad de sedimentación teórica cm/s}$

$g = \text{aceleración de la gravedad cm}^2/\text{s}$

$S_s = \text{densidad específica de la partícula}$

$\nu = \text{viscosidad cinemática del agua cm}^2/\text{s}$

$$0,133 \text{ cm/s} = \frac{980}{18} * \frac{(2.65 - 1)d_o^2}{0,00917 \text{ cm}^2/\text{s}}$$

$$d_o = 0.004 \text{ cm}$$

En condiciones teóricas se removerían partículas hasta de un diámetro igual a 0.004cm, pero al tener en consideración las condiciones reales de operación (flujo no uniforme, corriente de densidad, cortocircuito, zonas muertas velocidad horizontal variable), el diámetro máximo posible de ser removido se aumenta a 0.008cm.

Velocidad horizontal ( $V_h$ ):

$$V_h = \frac{V_o * l}{h}$$

$l = \text{longitud útil del desarenador}$

$h = \text{profundidad del desarenador}$

$$V_h = \frac{0,00133 \text{ m/s} * 3.35 \text{ m}}{2.45 \text{ m}} = 0.0018 \text{ m/s} = 0.18 \text{ cm/s}$$

Velocidad horizontal máxima ( $V_{hmax}$ ):

$$V_{hmax} = 20V_s = 20 * 0.18 \text{ cm/s} = 3.6 \text{ cm/s}$$

La velocidad horizontal debe ser menor que la velocidad de arrastre de las partículas ( $V_h < V_r$ ), con el propósito de evitar la resuspensión del sedimento:

$$V_r = \sqrt{\frac{8kgd(\rho_s - \rho)}{f}}$$

$k$  = constante de sedimentación de arenas 0.04

$f$  = constante de sedimentación por la simple acción de la gravedad 0.03

$d$  = diámetro de la partícula

$\rho_s$  = peso específico de la partícula de arena

$\rho$  = peso específico del agua

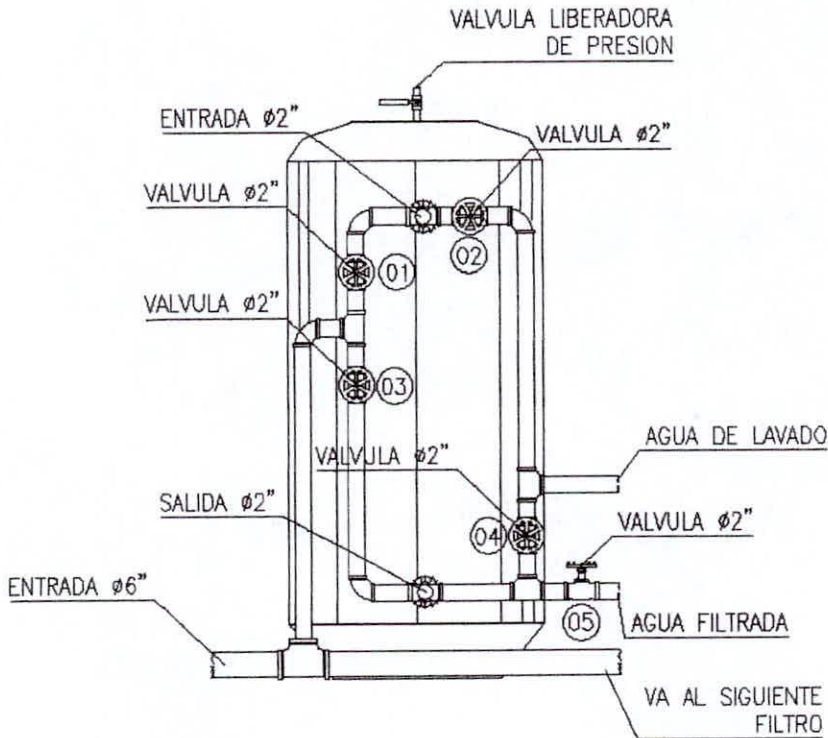
$g$  = aceleración de la gravedad  $cm/s^2$

$$V_r = \sqrt{\frac{8 * 0.04 * 980 \frac{cm}{seg^2} * 0.008 \text{ cm} (2.65 - 1)}{0.03}} = 11.74 \text{ cm/s}$$

$0.18 \text{ cm/s} < 11.74 \text{ cm/s}$  (Cumple)

Luego de realizada la evaluación a la unidad existente se encontró que esta presenta fallas de operación en varios de los parámetros de la zona de sedimentación. El periodo de retención hidráulico y la carga hidráulica superficial no cumplen con lo recomendado en la literatura técnica, mientras que la relación longitud útil/profundidad efectiva, la velocidad de sedimentación, horizontal y de resuspensión se encuentran dentro de los límites admisibles por la literatura consultada.

## 6.4 Filtración



**Figura 5 Filtro a presión**

En la evaluación de las unidades de filtración se siguieron con los parámetros de diseño del RAS 2000 (17).

El agua efluente del desarenador en la planta de potabilización se distribuye a través de una tubería PVC de 6" e ingresa a una batería de 6 filtros a presión conectados en paralelo de lecho mixto compuesto por arena y antracitas.

Cada filtro está conformado por los siguientes elementos:

- Compuerta de entrada de agua proveniente del desarenador
- Compuerta de salida de agua filtrada.



- Válvula liberadora de presión.
- Compuerta de desagüe.
- Canal de recolección del agua efluente del lavado.

Debido a que las tuberías que transportan el agua que ingresa y sale de cada filtro no cuentan con medidores piezométricos que indiquen la pérdida de carga, y a que el mejor indicador de la eficiencia de estas unidades es la turbiedad del agua producida, en la presente evaluación no se tuvieron en cuenta las pérdidas de carga que sufre el flujo por su paso a través de cada lecho filtrante.

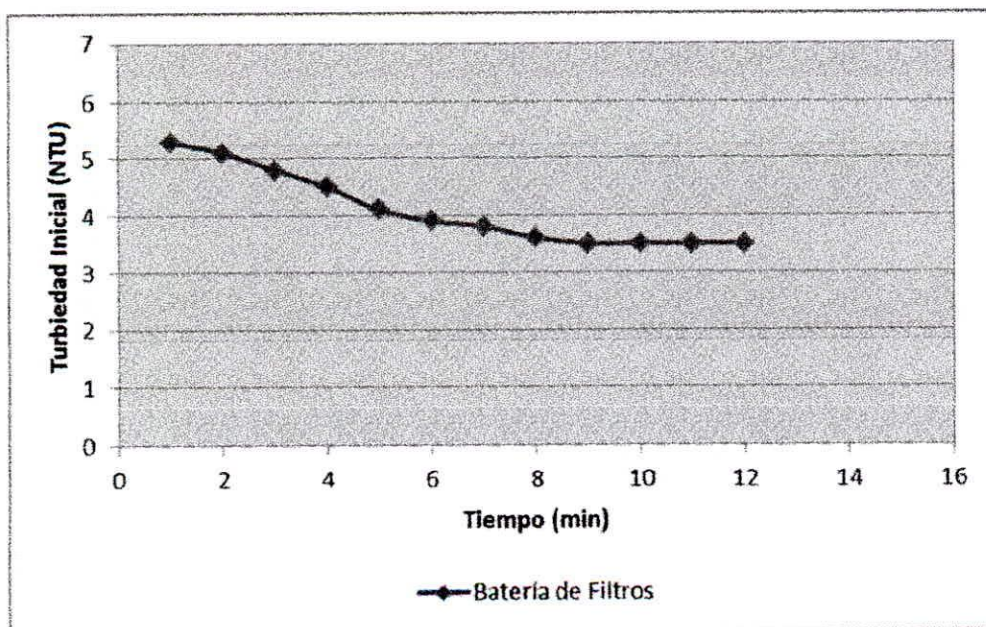
En estos filtros, la velocidad de filtración depende del estado de colmatación individual de cada lecho filtrante, por lo cual, el flujo en cada unidad decrece con el tiempo y el nivel de agua sobre cada lecho sufre leves fluctuaciones (se consideran de tasa declinante constante).

#### **6.4.1 Calidad del Filtrado Inicial**

Al poner un filtro en funcionamiento después del proceso de lavado, se obtiene por lo general un efluente con turbiedad más alta que durante el resto de la carrera, debido a que cierta proporción de las partículas que se desprendieron durante el proceso de lavado han quedado en el agua retenidas sobre el lecho y dentro de éste, saliendo al comenzar la operación. Por tal motivo, se detecta el comportamiento del filtro al inicio de su carrera y se determina el tiempo que demora en alcanzar la turbiedad normal.

**Tabla 5 Comportamiento del filtro al inicio de la carrera**

Batería de Filtros	
Tiempo (min)	Turbiedad (NTU)
1	5.3
2	5.1
3	4.8
4	4.5
5	4.1
6	3.9
7	3.8
8	3.6
9	3.5
10	3.5
11	3.5
12	3.5



**Grafica 2 Periodo de recuperación del filtro después del lavado**

De acuerdo con la gráfica 2, las turbiedades iniciales no son muy altas, esto puede ser un indicador de el buen funcionamiento de los filtros, de un lecho filtrante en buen estado y de un buen proceso de lavado.

#### **6.4.2 Características del lecho Filtrante**

Las características del medio filtrante que mayor influencia tienen en la eficiencia de los filtros son el tamaño y forma de los granos, la porosidad del lecho filtrante y su profundidad.

- **Granulometría del Medio Filtrante**

Para la realización de este punto se determinó el tamaño de los granos que componen la muestra a analizar en los filtros. Del análisis granulométrico realizado para la arena y la antracita, se interpolaron los diámetros efectivos  $P_{10}$  y  $P_{60}$  necesarios para calcular los coeficientes de uniformidad de cada uno. El análisis granulométrico obtenido de cada uno de los filtros se muestra a continuación.



**Tabla 6 Granulometría filtro 1**

<b>Arena</b>					
<b>Peso Material 156.37 g</b>					
Tamiz	Tamaño de la Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Ret. Acumulada	% Pasa
N° 12	1,68	6,19	3,959	3,959	96,041
N° 16	1,19	3,84	2,456	6,414	93,586
N° 20	0,841	2,43	1,554	7,968	92,032
N° 30	0,595	60,27	38,543	46,511	53,489
N° 40	0,42	55,25	35,333	81,844	18,156
N° 50	0,297	24,68	15,783	97,627	2,3726
Pasa N° 50	< 0,297	3,61	2,309	100	0
<b>Antracita</b>					
<b>Peso Material 167.23 g</b>					
Tamiz	Tamaño de la Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Ret. Acumulada	% Pasa
N° 12	1,68	20,19	12,073	12,073	87,927
N° 16	1,19	78,63	47,019	59,092	40,908
N° 20	0,841	47,31	28,290	87,383	12,617
N° 30	0,595	8,32	4,975	92,358	7,6422
N° 40	0,42	2,86	1,710	94,068	5,932
N° 50	0,297	5,47	3,271	97,339	2,661
Pasa N° 50	< 0,297	4,25	2,541	100	0





**Tabla 7 Granulometría filtro 2**

<b>Arena</b>					
<b>Peso Material 151.23 g</b>					
Tamiz	Tamaño de la Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Ret. Acumulada	% Pasa
N° 12	1,68	3,97	2,625	2,625	97,375
N° 16	1,19	2,43	1,607	4,232	95,768
N° 20	0,841	1,33	0,879	5,111	94,889
N° 30	0,595	58,62	38,762	43,874	56,126
N° 40	0,42	57,84	38,246	82,120	17,880
N° 50	0,297	22,11	14,620	96,740	3,260
Pasa N° 50	< 0,297	4,93	3,260	100	0
<b>Antracita</b>					
<b>Peso Material 180.93 g</b>					
Tamiz	Tamaño de la Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Ret. Acumulada	% Pasa
N° 12	1,68	18,03	9,965	9,965	90,035
N° 16	1,19	98,91	54,668	64,633	35,367
N° 20	0,841	47,46	26,231	90,864	9,1361
N° 30	0,595	7,18	3,968	94,832	5,1677
N° 40	0,42	2,44	1,349	96,181	3,8192
N° 50	0,297	5,38	2,974	99,154	0,8456
Pasa N° 50	< 0,297	1,53	0,846	100	0

**Tabla 8 Granulometría filtro 3**

<b>Arena</b>					
<b>Peso Material 114.57 g</b>					
Tamiz	Tamaño de la Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Ret. Acumulada	% Pasa
N° 12	1,68	4,75	4,146	4,146	95,854
N° 16	1,19	1,15	1,004	5,150	94,85
N° 20	0,841	2,24	1,955	7,105	92,895
N° 30	0,595	39,81	34,747	41,852	58,148
N° 40	0,42	50,62	44,183	86,035	13,965
N° 50	0,297	13,39	11,687	97,722	2,2781
Pasa N° 50	< 0,297	2,63	2,296	100	0
<b>Antracita</b>					
<b>Peso Material 214.09 g</b>					
Tamiz	Tamaño de la Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Ret. Acumulada	% Pasa
N° 12	1,68	18,09	8,450	8,450	91,55
N° 16	1,19	107,76	50,334	58,784	41,216
N° 20	0,841	64,87	30,300	89,084	10,916
N° 30	0,595	11,63	5,432	94,516	5,4837
N° 40	0,42	1,98	0,925	95,441	4,5588
N° 50	0,297	4,52	2,111	97,552	2,4476
Pasa N° 50	< 0,297	5,24	2,448	100	0

**Tabla 9 Granulometría filtro 4**

<b>Arena</b>					
<b>Peso Material 160.97 g</b>					
Tamiz	Tamaño de la Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Ret. Acumulada	% Pasa
N° 12	1,68	9,03	5,610	5,610	94,390
N° 16	1,19	12,75	7,921	13,530	86,470
N° 20	0,841	75,24	46,742	60,272	39,728
N° 30	0,595	55,16	34,267	94,539	5,461
N° 40	0,42	4,64	2,883	97,422	2,578
N° 50	0,297	2,93	1,820	99,242	0,758
Pasa N° 50	< 0,297	1,22	0,758	100	0
<b>Antracita</b>					
<b>Peso Material 148.86 g</b>					
Tamiz	Tamaño de la Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Ret. Acumulada	% Pasa
N° 12	1,68	23,55	15,820	15,820	84,18
N° 16	1,19	25,65	17,231	33,051	66,949
N° 20	0,841	17,71	11,897	44,948	55,052
N° 30	0,595	43,19	29,014	73,962	26,038
N° 40	0,42	29,57	19,864	93,826	6,1736
N° 50	0,297	7,46	5,011	98,838	1,1622
Pasa N° 50	< 0,297	1,73	1,162	100	0



**Tabla 10 Granulometría filtro 5**

<b>Arena</b>					
<b>Peso Material 158.27 g</b>					
Tamiz	Tamaño de la Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Ret. Acumulada	% Pasa
N° 12	1,68	6,8	4,296	4,296	95,704
N° 16	1,19	9,83	6,211	10,507	89,493
N° 20	0,841	70,92	44,810	55,317	44,683
N° 30	0,595	48,39	30,574	85,891	14,109
N° 40	0,42	16,68	10,539	96,430	3,5698
N° 50	0,297	3,93	2,483	98,913	1,0868
Pasa N° 50	< 0,297	1,72	1,087	100	0
<b>Antracita</b>					
<b>Peso Material 150.72 g</b>					
Tamiz	Tamaño de la Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Ret. Acumulada	% Pasa
N° 12	1,68	24,96	16,561	16,561	83,439
N° 16	1,19	28,32	18,790	35,350	64,65
N° 20	0,841	15,34	10,178	45,528	54,472
N° 30	0,595	42,36	28,105	73,633	26,367
N° 40	0,42	30,23	20,057	93,690	6,3097
N° 50	0,297	8,13	5,394	99,084	0,9156
Pasa N° 50	< 0,297	1,38	0,916	100	0



**Tabla 11 Granulometría filtro 6**

<b>Arena</b>					
<b>Peso Material 158.65 g</b>					
Tamiz	Tamaño de la Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Ret. Acumulada	% Pasa
N° 12	1,68	7,16	4,513	4,513	95,487
N° 16	1,19	11,33	7,142	11,655	88,345
N° 20	0,841	83,97	52,928	64,582	35,418
N° 30	0,595	45,28	28,541	93,123	6,877
N° 40	0,42	5,75	3,624	96,748	3,252
N° 50	0,297	3,83	2,414	99,162	0,838
Pasa N° 50	< 0,297	1,34	0,845	100	0
<b>Antracita</b>					
<b>Peso Material 79.83 g</b>					
Tamiz	Tamaño de la Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Ret. Acumulada	% Pasa
N° 12	1,68	2,08	2,606	2,606	97,394
N° 16	1,19	0,82	1,027	3,633	96,367
N° 20	0,841	13,21	16,548	20,180	79,82
N° 30	0,595	45,92	57,522	77,703	22,297
N° 40	0,42	12,88	16,134	93,837	6,1631
N° 50	0,297	3,13	3,921	97,758	2,2423
Pasa N° 50	< 0,297	1,79	2,242	100	0

- Diámetro Efectivo y Coeficiente de Uniformidad**

El diámetro efectivo  $d_e$  corresponde al tamaño del grano para el 10% que pasa por el tamiz y ésta dado por la siguiente fórmula:

$$d_e = P_{10}$$

El coeficiente de uniformidad (C.U.) ésta dado por la siguiente ecuación:

$$C.U. = \frac{P_{60}}{P_{10}}$$

Rangos recomendados:

**Tabla 12 Características de la Arena y la Antracita**

Diámetro Efectivo	Coefficiente de Uniformidad
<b>Arena</b>	
0.4 - 0.6	1.4 - 1.7
<b>Antracita</b>	
0.8 - 1.4	1.5 - 1.8

**Tabla 13 Tamaño de granos para la Arena y la Antracita**

Filtro	Arena			Antracita		
	P <sub>60</sub> (mm)	d <sub>e</sub> =P <sub>10</sub> (mm)	C.U	P <sub>60</sub> (mm)	d <sub>e</sub> =P <sub>10</sub> (mm)	C.U
1	0,64	0,36	1,79	1,39	0,71	1,95
2	0,62	0,35	1,75	1,41	0,85	1,65
3	0,61	0,38	1,61	1,37	0,80	1,72
4	0,99	0,63	1,58	0,99	0,45	2,17
5	0,96	0,53	1,82	1,03	0,45	2,28
6	1,00	0,62	1,61	0,76	0,29	2,64

Comparando los resultados obtenidos (ver tabla 13) con los recomendados por el RAS 2000 (17) (ver tabla 12), se observa que para la arena el diámetro efectivo se encuentra dentro del rango. Con relación al coeficiente de uniformidad, los filtros 3,4 y 6 están dentro del rango permitido, en el caso de la antracita el diámetro efectivo de los filtros 2 y 3 se encuentra dentro de los límites admisibles. En el caso del coeficiente de uniformidad este solo se encuentra dentro del rango recomendado en los filtros 2 y 3.

### 6.4.3 Espesor de los Lechos de Arena y Antracita

A continuación se relacionan los espesores de cada lecho para los diferentes filtros.

**Tabla 14 Espesor de los lechos de Arena y Antracita en cada filtro**

Filtro	1	2	3	4	5	6
Espesor lecho de arena (m)	0.36	0.38	0.30	0.33	0.39	0.20
Espesor lecho antracita (m)	0.38	0.34	0.45	0.47	0.43	0.44
Lecho total	0.74	0.72	0.75	0.80	0.82	0.64

De acuerdo a criterios de diseño establecidos por el RAS 2000 (17), el lecho de arena debe tener un espesor comprendido entre 0.45m a 0.65m y el lecho de antracita de espesor entre 0.3m a 0.55m (aproximadamente este último debe comprender el 60% del lecho filtrante total). Por lo anterior en la tabla a continuación se relacionan los porcentajes de cada material respecto al total del lecho filtrante en cada filtro.

**Tabla 15 Porcentaje de Arena y Antracita del total de lecho filtrante en cada unidad**

Filtro	1	2	3	4	5	6
Espesor lecho de arena (%)	48.65	52.77	40.00	41.25	47.56	31.25
Espesor lecho antracita (%)	51.35	47.22	60.00	58.75	52.44	68.75

A medida que se aumenta la proporción de antracita y disminuye la de arena; la pérdida de carga decrece proporcionalmente por la mayor porosidad de la antracita, pero es costoso hacer el lecho de antracita mayor al 60% del lecho total.



#### 6.4.4 Velocidad y Caudal de Lavado

Para la determinación del caudal de lavado utilizamos el método volumétrico, esto consistió en tomar a la salida de la tubería de lavado diferentes volúmenes a distintos periodos de tiempo.

Tabla 16 Caudal de Lavado

Volumen (l)	Tiempo (s)	Caudal (l/s)
15,0	1,82	8,25
10,0	1,25	8,00
13,0	1,60	8,12
18,0	2,12	8,51
9,0	1,08	8,32
Caudal Promedio		8,24

Con este caudal se determinó la velocidad de lavado:

$$Q = V * A$$

$V =$  velocidad de lavado

$A =$  area del filtro

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.00824 \text{ m}^3/\text{s} * 4}{\pi d^2} = \frac{0.00824 \text{ m}^3/\text{s} * 4}{\pi(1 \text{ m})^2} = 0.0104 \text{ m/s}$$

$$V = 0.62 \text{ m/min}$$

Esta velocidad de lavado está dentro del rango de 0.6m/min y 1.0m/min exigido por el RAS 2000, para filtros que funcionan por gravedad y lecho dual. Este parámetro no está estipulado para filtros que funcionan a presión.



#### 6.4.5 Duración de lavado de los filtros

El lavado de los filtros se efectúa con un caudal de 8.24l/s, la duración del lavado la establece el operario con el efluente de lavado, hasta que el agua se clarifique, el tiempo que dura esta operación según el operario es de 20 minutos aproximadamente.

#### 6.4.6 Expansión del Lecho Filtrante

Según la velocidad con la cual se inyecte el agua de lavado y el diámetro del medio granular, el lecho tendera a expandirse. Este porcentaje de expansión se calcula utilizando la siguiente ecuación

$$\%E = \frac{\Delta h}{h} * 100$$

$\Delta h$  = Distancia entre el recipiente que contiene el material granular y el extremo inferior del tubo (m).

$h$  = Altura del lecho filtrante (m)

En la Tabla 17 se presentan los resultados de los porcentajes de expansión en cada filtro, determinados mediante la anterior ecuación y con la ayuda de un equipo, el cual consiste en una varilla metálica con cajitas soldadas a distancia de 5cm. entre los bordes de las cajitas tal como lo muestra (ver foto 20).

**Tabla 17 Porcentaje de expansión de los filtros**

Filtro	$\Delta h$ (m)	h (m)	% E
1	0.15	0.74	20.27
2	0.20	0.72	27.77
3	0.15	0.75	20.00
4	0.20	0.80	25.00
5	0.20	0.82	24.39
6	0.15	0.64	23.43

El porcentaje de expansión obtenido en la batería de filtros se encuentra dentro del rango recomendado por el RAS 2000 (17).

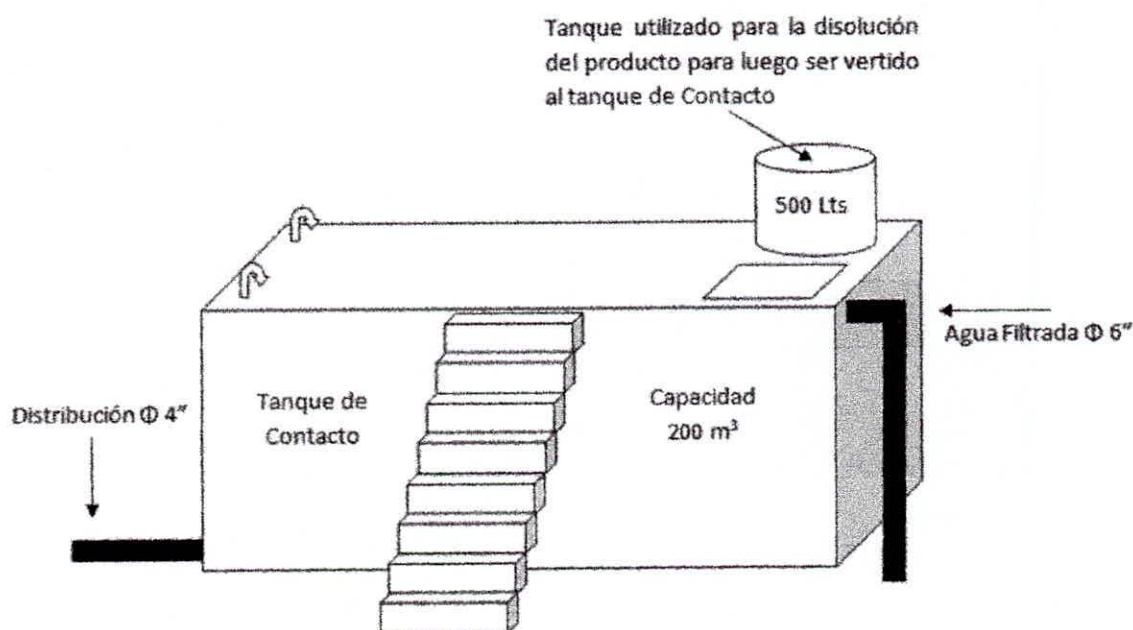
### **6.5 Sistema de Desinfección**

Al iniciar el reconocimiento de la planta de tratamiento, el sistema de desinfección estaba compuesto por un tanque de solución, plástico, con capacidad de almacenamiento de 500 litros y un tanque superficial, de concreto, utilizado para el contacto del cloro con el agua filtrada, tal como se muestra en la figura 6.

En el tanque de solución se disolvían 200g de hipoclorito de calcio granulado en 500 litros de agua, para luego ser dosificado directamente al tanque de contacto. Esta actividad se realizaba por el operador de la planta sin contar con los conocimientos adecuados sobre la cantidad óptima de producto necesaria para obtener un buen funcionamiento del sistema de desinfección.

El tanque de contacto utilizado para el sistema de desinfección tiene 14.42m de largo, 4.95m de ancho y 2.79m de profundidad, en su interior está dividido por tres muros que van a todo lo ancho, con el fin de permitir un tiempo de contacto con el desinfectante, este tiempo se determinó utilizando la tabla C.8.2.B del RAS 2000 teniendo en cuenta el pH y la dosis de cloro aplicada. Para un pH entre 7.0 y 7.5, y una dosis de cloro aplicada de 3mg/l obtenemos un tiempo de contacto de 12 minutos aproximadamente.

A la entrada del tanque de contacto está ubicada una tubería de 6" que transporta el efluente de los filtros, y a la salida del tanque existen dos tuberías de PVC de diámetro de 4", una va hacia la red de distribución del corregimiento de Santa Rosalía en la cual se encuentra una válvula de compuerta, la cual regula el paso de agua hacia la red, y la otra tubería es utilizada para mantenimiento del tanque.



**Figura 6 Sistema de desinfección**

En las condiciones anteriormente descritas, no se dosificaba la cantidad necesaria para tratar todo el volumen de agua contenido en el tanque de contacto, lo cual se comprobó al determinar la concentración de cloro residual, con un kit de ortotolidina, en tres puntos representativos de la red de distribución: en el inicio de la red de distribución, en la parte intermedia de la red y al final de la misma. En el primer punto, el más cercano a la planta de tratamiento, normalmente la concentración de cloro residual era menor de 0,3mg/l, y en los otros dos puntos fue siempre 0.0mg/l. Ver resultados en la Tabla 18



**Tabla 18 Determinación de cloro residual antes de la optimización del sistema de desinfección**

No.	Fecha	Sitio de muestreo	Cloro residual (mg/l)
1	Ene. 10 de 2010	Familia Pérez Viloría. Grifo patio	0.0
2	Ene. 10 de 2010	Familia Araujo Pérez. Grifo Cocina	0.0
3	Ene. 10 de 2010	Familia Ortega Fernández. Grifo Baño	0.0
4	Ene. 17 de 2010	Familia Pérez Viloría. Grifo patio	0.15
6	Ene. 17 de 2010	Familia Araujo Pérez. Grifo Cocina	0.0
5	Ene. 17 de 2010	Familia Ortega Femández. Grifo Baño	0.0
8	Ene. 24 de 2010	Familia Pérez Viloría. Grifo patio	0.25
7	Ene. 24 de 2010	Familia Araujo Pérez. Grifo Cocina	0.0
9	Ene. 24 de 2010	Familia Ortega Fernández. Grifo Baño	0.0

Debido a los resultados no satisfactorios obtenidos en los muestreos de cloro residual realizados en la red de distribución del corregimiento de Santa Rosalía fue necesaria la implementación de una solución óptima y eficaz para el buen funcionamiento de la fase de desinfección.

### **6.6 Infraestructura de Control de Calidad**

La planta de potabilización del Corregimiento de Santa Rosalía, sólo posee un comparador de cloro y carece de los equipos necesarios para la realización de otros análisis fisicoquímicos y de los bacteriológicos del agua. Por este motivo en el corregimiento no existe información sobre la calidad del agua que se le suministra a la comunidad.



## 6.7 Calidad de Agua Suministrada

Como se mencionó en el ítem anterior, en el acueducto no existe información de la calidad del agua cruda y tratada; por esta razón, la única información disponible es la obtenida durante la presente investigación, correspondiente a muestras de agua tomadas en la red de distribución y en la entrada a la captación de agua cruda.

En las tablas, de la 19 a la 27, se presentan los resultados de los análisis realizados. Se aclara que de la Tabla No-20 en adelante los resultados corresponden a muestras de agua tratada después de optimizado el sistema de desinfección.

**Tabla 19 Caracterización del agua cruda y tratada Mes de Enero 2010 (verano)**

Parámetro	Expresado Como	Valor		Resolución 2115 -22 de junio 2007 para agua potable
		Agua Cruda	Agua Tratada	
Color aparente	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	10	5	15
Olor y Sabor	Aceptable o no Aceptable	Acep.	Acep.	Aceptable
Turbiedad	Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT)	10,32	2,93	5
Conductividad	micromhos/cm	136	110	1000
PH	U	7,76	7,56	6,5 - 9.0
Alcalinidad Total	CaCO <sub>3</sub>	9,65	8,56	200 mg/l
Cloruros	Cl	8,5	7,4	250 mg/l
Dureza Total	CaCO <sub>3</sub>	13,30	13,00	300 mg/l
Hierro Total	Fe	0,10	0,06	0,3 mg/l
Coliformes totales	UFC/100ml	$7,2 \times 10^3$	$1 \times 10^3$	0 UFC/100ml
Escherichia Coli	UFC/100ml	$2 \times 10^3$	$0,5 \times 10^3$	0 UFC/100ml

**Tabla 20 Caracterización del agua cruda y tratada Mes de Febrero 2010 (verano)**



Parámetro	Expresado Como	Valor		Resolución 2115 -22 de junio 2007 para agua potable
		Agua Cruda	Agua Tratada	
Color aparente	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	8	4	15
Olor y Sabor	Aceptable o no Aceptable	Acep.	Acep.	Aceptable
Turbiedad	Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT)	7,54	2,85	5
Conductividad	micromhos/cm	137	125	1000
PH	U	7,9	7,46	6,5 - 9.0
Alcalinidad Total	CaCO3	10,34	9,15	200 mg/l
Cloruros	Cl	8,7	6,00	250 mg/l
Dureza Total	CaCO3	12,00	11,40	300 mg/l
Hierro Total	Fe	0,12	0,04	0,3 mg/l
Coliformes totales	UFC/100ml	$6,3 \times 10^3$	0	0 UFC/100ml
EscherichiaColi	UFC/100ml	$2,5 \times 10^3$	0	0 UFC/100ml

**Tabla 21 Caracterización del agua cruda y tratada Mes de Marzo 2010 (verano)**

Parámetro	Expresado Como	Valor		Resolución 2115 -22 de junio 2007 para agua potable
		Agua Cruda	Agua Tratada	
Color aparente	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	9	4	15
Olor y Sabor	Aceptable o no Aceptable	Acep.	Acep.	Aceptable
Turbiedad	Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT)	5,62	2,60	5
Conductividad	micromhos/cm	141	127	1000
PH	U	8,2	7,1	6,5 - 9.0
Alcalinidad Total	CaCO3	11,2	9,7	200 mg/l
Cloruros	Cl	8.3	5,6	250 mg/l
Dureza Total	CaCO3	11,8	10,8	300 mg/l
Hierro Total	Fe	0,09	0,03	0,3 mg/l
Coliformes totales	UFC/100ml	$5,2 \times 10^3$	0	0 UFC/100ml
EscherichiaColi	UFC/100ml	$1,7 \times 10^3$	0	0 UFC/100ml



**Tabla 22 Caracterización del agua cruda y tratada Mes de Abril 2010 (verano)**

Parámetro	Expresado Como	Valor		Resolución 2115 -22 de junio 2007 para agua potable
		Agua Cruda	Agua Tratada	
Color aparente	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	10	3	15
Olor y Sabor	Aceptable o no Aceptable	Acep.	Acep.	Aceptable
Turbiedad	Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT)	6,33	2,71	5
Conductividad	micromhos/cm	131	124	1000
PH	U	7,71	6,98	6,5 - 9.0
Alcalinidad Total	CaCO3	10,3	8,97	200 mg/l
Cloruros	Cl	7,91	5,97	250 mg/l
Dureza Total	CaCO3	9,57	8,33	300 mg/l
Hierro Total	Fe	0,087	0,03	0,3 mg/l
Coliformes totales	UFC/100ml	$3,2 \times 10^3$	0	0 UFC/100ml
EscherichiaColi	UFC/100ml	$1,4 \times 10^3$	0	0 UFC/100ml

**Tabla 23 Caracterización del agua cruda y tratada Mes de Mayo 2010 (verano)**

Parámetro	Expresado Como	Valor		Resolución 2115 -22 de junio 2007 para agua potable
		Agua Cruda	Agua Tratada	
Color aparente	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	11	5	15
Olor y Sabor	Aceptable o no Aceptable	Acep.	Acep.	Aceptable
Turbiedad	Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT)	5,65	2,37	5
Conductividad	micromhos/cm	132	129	1000
PH	U	6,68	7,32	6,5 - 9.0
Alcalinidad Total	CaCO3	12,6	8,63	200 mg/l
Cloruros	Cl	8,54	7,23	250 mg/l
Dureza Total	CaCO3	11,33	6,32	300 mg/l
Hierro Total	Fe	0,17	0,04	0,3 mg/l
Coliformes totales	UFC/100ml	$3,2 \times 10^3$	0	0 UFC/100ml
EscherichiaColi	UFC/100ml	$2,87 \times 10^3$	0	0 UFC/100ml



**Tabla 24 Caracterización del agua cruda y tratada Mes de Junio 2010 (verano)**

Parámetro	Expresado Como	Valor		Resolución 2115 -22 de junio 2007 para agua potable
		Agua Cruda	Agua Tratada	
Color aparente	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	13	6	15
Olor y Sabor	Aceptable o no Aceptable	Acep.	Acep.	Aceptable
Turbiedad	Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT)	5,77	2,12	5
Conductividad	micromhos/cm	127	132	1000
PH	U	6,39	8,47	6,5 - 9.0
Alcalinidad Total	CaCO3	14,3	8,76	200 mg/l
Cloruros	Cl	6,67	4,78	250 mg/l
Dureza Total	CaCO3	10,78	7,31	300 mg/l
Hierro Total	Fe	0,13	0,05	0,3 mg/l
Coliformes totales	UFC/100ml	$2,7 \times 10^3$	0	0 UFC/100ml
EscherichiaColi	UFC/100ml	$1,9 \times 10^3$	0	0 UFC/100ml

**Tabla 25 Caracterización del agua cruda y tratada Mes de julio 2010 (lluvia)**

Parámetro	Expresado Como	Valor		Resolución 2115 -22 de junio 2007 para agua potable
		Agua Cruda	Agua Tratada	
Color aparente	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	35	16	15
Olor y Sabor	Aceptable o no Aceptable	Acep.	Acep.	Aceptable
Turbiedad	Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT)	80	12	5
Conductividad	micromhos/cm	141	133	1000
PH	U	6,43	7,11	6,5 - 9.0
Alcalinidad Total	CaCO3	9,87	7,96	200 mg/l
Cloruros	Cl	5,97	4,68	250 mg/l
Dureza Total	CaCO3	11,69	7,75	300 mg/l
Hierro Total	Fe	0,16	0,07	0,3 mg/l
Coliformes totales	UFC/100ml	$11,98 \times 10^3$	$5 \times 10^2$	0 UFC/100ml
EscherichiaColi	UFC/100ml	$4,6 \times 10^3$	$3,2 \times 10^3$	0 UFC/100ml



**Tabla 26 Caracterización del agua cruda y tratada Mes de Agosto 2010 (lluvia)**

Parámetro	Expresado Como	Valor		Resolución 2115 -22 de junio 2007 para agua potable
		Agua Cruda	Agua Tratada	
Color aparente	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	42	19	15
Olor y Sabor	Aceptable o no Aceptable	Acep.	Acep.	Aceptable
Turbiedad	Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT)	93	6	5
Conductividad	micromhos/cm	126	114	1000
PH	U	8,87	7,31	6,5 - 9.0
Alcalinidad Total	CaCO3	9,54	8,68	200 mg/l
Cloruros	Cl	7,93	6,46	250 mg/l
Dureza Total	CaCO3	14,32	7,86	300 mg/l
Hierro Total	Fe	0,25	0,16	0,3 mg/l
Coliformes totales	UFC/100ml	16,33 x 10 <sup>3</sup>	0	0 UFC/100ml
EscherichiaColi	UFC/100ml	7,4 x 10 <sup>3</sup>	0	0 UFC/100ml

**Tabla 27 Caracterización del agua cruda y tratada Mes de Septiembre 2010 (lluvia)**

Parámetro	Expresado Como	Valor		Resolución 2115 -22 de junio 2007 para agua potable
		Agua Cruda	Agua Tratada	
Color aparente	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	37	16	15
Olor y Sabor	Aceptable o no Aceptable	Acep.	Acep.	Aceptable
Turbiedad	Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT)	97	6,6	5
Conductividad	micromhos/cm	148	136	1000
PH	U	8,45	6,98	6,5 - 9.0
Alcalinidad Total	CaCO3	9,74	8,27	200 mg/l
Cloruros	Cl	8,3	7,23	250 mg/l
Dureza Total	CaCO3	16,3	12,64	300 mg/l
Hierro Total	Fe	0,27	0,19	0,3 mg/l
Coliformes totales	UFC/100ml	15,2 x 10 <sup>3</sup>	0	0 UFC/100ml
EscherichiaColi	UFC/100ml	8,41 x 10 <sup>3</sup>	0	0 UFC/100ml

Con respecto a la calidad del agua, es importante mencionar que el corregimiento de Santa Rosalía tiene una gran ventaja, y es que su fuente de abastecimiento no presenta puntos de contaminación muy marcados.

Al iniciar la evaluación en el mes de Enero, se encontró que algunos parámetros de agua tratada, no cumplían con lo estipulado en la normatividad Colombiana vigente esto debido a fallas en la operación del proceso de potabilización.

Entre los meses de Febrero a Junio, se observa que los parámetros de agua tratada, cumplen con la legislación colombiana en cuanto a agua potable se refiere, esto debido a la optimización del proceso de desinfección.

En el mes de julio, época en que se inició la temporada de lluvias, se observa que los parámetros de coliformes totales y turbiedad de agua tratada, no se encuentran dentro de lo establecido, debido a que la calidad del agua de la fuente de abastecimiento varia, haciendo necesario la implementación de otras medidas en los procesos de filtración y desinfección; por esto, se hizo necesario aumentar la frecuencia de lavado de los filtros para disminuir la colmatación del lecho filtrante, y en el proceso de desinfección aumentar la dosis de cloro para eliminar los organismos patógenos presentes.

En los dos últimos meses del monitoreo al sistema de potabilización se observa que los parámetros de turbiedad y color de agua tratada, están por encima de los valores establecidos, debido a que la época de lluvias genera arrastre de sedimentos.

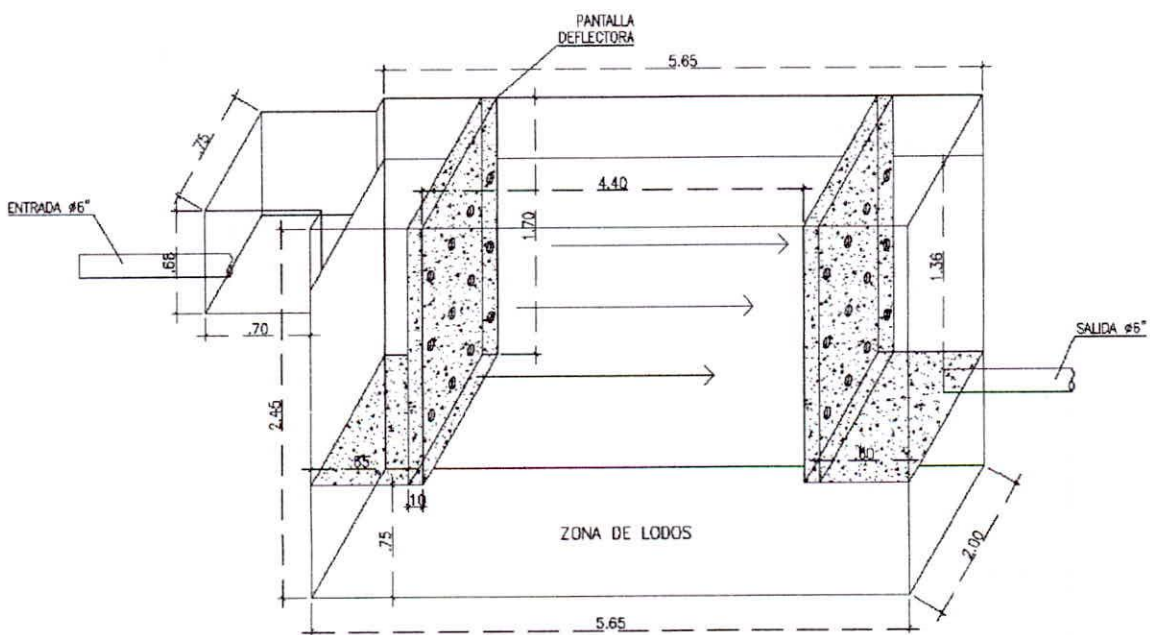


## 7 PROPUESTAS DE OPTIMIZACIÓN

### 7.1 Bocatoma

Se recomienda la instalación de una rejilla de varillas redondas de  $\frac{1}{2}$ " ,  $\frac{3}{4}$ " o 1" , y separación entre barrotes de 20mm a 25mm, según las recomendaciones del RAS 2000 (17). Igualmente se recomienda la instalación de una válvula de compuerta en la entrada a la aducción, que permita la realización de las operaciones de limpieza y mantenimiento.

### 7.2 Desarenador



**Figura 7 Desarenador Propuesto**

La optimización de la unidad de desarenación para darle cumplimiento a los parámetro de diseño estipulados por el RAS 2000, se hizo aprovechando la estructura existente.

Para la optimización del desarenador se tuvo en cuenta el nivel de complejidad del sistema, para determinar el periodo de diseño, según la curva de demanda de agua y la tasa de crecimiento de la población.

- **Pantalla Deflectora**

La pantalla deflectora será una pantalla perforada con orificios de 2" de diámetro (ver figura 7), de tal forma que la velocidad de paso a través de los ellos no exceda de 0.25m/s (17). Esta pantalla separará la zona de entrada de la zona de salida.

Calculo del número de orificios:

$$\#orificios = \frac{Q_d}{Q_o}$$

$Q_d = \text{Caudal maximo diario (año 2021)}$

$Q_o = \text{caudal del orificio}$

$$Q_o = A * V$$

$A = \text{area del orificio}$

$V = \text{velocidad de paso a traves de los orificios}$

$$Q_o = \frac{\pi d^2}{4} * 0.25 \text{ m/s}$$

$$Q_o = 0.000506 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\#orificios = \frac{0.00606 \text{ m}^3/\text{s}}{0.000506 \text{ m}^3/\text{s}} \cong 12 \text{ orificios}$$





Con este dispositivo en la entrada se disipa la velocidad de llegada del fluido a la zona de sedimentación, asegurando una distribución uniforme del flujo en toda la sección transversal del desarenador (ver figura 7).

- **Zona de Sedimentación**

El RAS recomienda que la relación entre la longitud útil del desarenador y la profundidad efectiva para almacenamiento de arena sea 10 a 1. Según esta misma norma, la profundidad efectiva para el almacenamiento de arena en el desarenador debe estar comprendida entre 0.75m y 1.50m (17).

La longitud útil del desarenador existente es de 4,40m. Al aplicarle la relación de longitud útil con respecto a la altura del depósito de arena, ésta debería ser de 0.44m. En el sistema existente esta profundidad es de 0.75m, con lo cual se asegura una capacidad de almacenamiento de arena superior al recomendado por el RAS.

El área superficial real de la Zona de Sedimentación:

$$A_s = b * l$$

$b$  = ancho del desarenador

$l$  = longitud útil del desarenador

$$A_s = 2 \text{ m} * 4.4 \text{ m} = 8.8 \text{ m}^2$$

El volumen total:

$$V_{total} = h * A_s$$

$A_s$  = area superficial

$h$  = profundidad del desarenador

$$V_{total} = 1.36 \text{ m} \times 8.8 \text{ m}^2 = 11.97 \text{ m}^3$$

Los periodos de retención hidráulicos deben estar comprendidos entre 0.5h y 4h (13). Para un caudal de 6.06l/s, que es el caudal máximo diario proyectado para el año 2021, el tiempo de retención ( $t$ ) en la zona de sedimentación es:

$$\theta = \frac{V}{Q}$$

$V$  = volumen total

$Q$  = caudal máximo diario

$$\theta = \frac{11970 \text{ l}}{6.06 \text{ l/s}} = 1975.24 \text{ s} = 0.54 \text{ h (Cumple con el RAS)}$$

La carga hidráulica superficial debe estar comprendida entre  $15\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$  y  $80\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$  (13). Para un caudal de 6.06l/s, que es el caudal máximo diario para el año del 2021, la carga hidráulica superficial ( $q$ ) es:

$$q = \frac{Q}{A_s}$$

$A_s$  = area superficial

$Q$  = caudal máximo diario

$$q = \frac{0.00606 \text{ m}^3/\text{s}}{8.8 \text{ m}^2} = 0.000688 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{s} = 59.49 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{día (Cumple con el RAS)}$$

Al final del periodo de diseño la carga hidráulica superficial será alta y al comienzo de esta tendera al límite inferior (13).

Velocidad de Sedimentación ( $V_s$ ):

De la tabla 9.3 del libro Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillado (13) se obtiene el Número de Hazen ( $V_s/V_o$ ) de 1.66, asumiendo el grado del desarenador  $n=3$ , deflectores buenos y un porcentaje de remoción del 75%.

El tiempo que tarda la partícula crítica de arena en llegar al fondo es:

$$\frac{\theta}{t} = 1.66$$

$\theta =$  periodo de retencion hidraulico

$$t = \frac{0.54 h}{1.66} = 0.32 h = 1171.08 s$$

$$V_s = \frac{H}{t}$$

$t =$  tiempo de retencion

$H =$  la distancia maxima que la partícula alcanza recorrer

$$V_s = \frac{2.11 m}{1171.08 s} = 0.0018 m/s = 0.180 cm/s$$

El diámetro de las partículas discretas, de peso específico  $2.65 \text{ gr/cm}^3$ , en un régimen laminar a temperatura de  $24^\circ\text{C}$  que logran sedimentarse a la velocidad crítica de diseño de la unidad es:

$$V_s = \frac{g}{18} * \frac{(S_s - 1)d^2}{\nu} \text{ Ecuacion de Stokes}$$

$V_s =$  velocidad de sedimentacion  $cm/s$



$g = \text{aceleracion de la gravedad } \text{cm}^2 / \text{s}$

$Ss = \text{densidad especifica de la particula}$

$v = \text{viscosidad cinematica del agua } \text{cm}^2 / \text{s}$

$$0,180 \text{ cm/s} = \frac{980}{18} * \frac{(2.65 - 1)d^2}{0,00917 \text{ cm}^2 / \text{s}}$$

$$d = 0.004 \text{ cm}$$

La carga hidráulica superficial es igual a la velocidad de sedimentación de la partícula crítica en condiciones teóricas,  $V_o$ , la cual debe corresponder a la de un diámetro menor.

$$V_o = q = 0.000688 \text{ m/s} = 0.0688 \text{ cm/s}$$

Diámetro de la partícula crítica:

$$V_o = \frac{g}{18} * \frac{(Ss - 1)d^2}{v} \text{ Ecuacion de Stokes}$$

$V_o = \text{velocidad de sedimentacion teorica } \text{cm/s}$

$g = \text{aceleracion de la gravedad } \text{cm}^2 / \text{s}$

$Ss = \text{densidad especifica de la particula}$

$v = \text{viscosidad cinematica del agua } \text{cm}^2 / \text{s}$

$$0,0688 \text{ cm/s} = \frac{980}{18} * \frac{(2.65 - 1)d_o^2}{0,00917 \text{ cm}^2 / \text{s}}$$

$$d_o = 0.002 \text{ cm}$$

En condiciones teóricas se removerían partículas de un diámetro igual y superior a 0.002cm, pero al tener en consideración las condiciones reales de operación (flujo

no uniforme, corrientes de densidad, cortocircuitos, zonas muertas, velocidad horizontal variable), el diámetro mínimo esperado de ser removido se aumenta a 0.004cm.

Velocidad horizontal ( $V_h$ ):

$$V_h = \frac{V_o * l}{h}$$

$l$  = longitud util del desarenador

$h$  = profundidad del desarenador

$$V_h = \frac{0,000688 \text{ m/s} * 4.4 \text{ m}}{2.11 \text{ m}} = 0.0014 \text{ m/s} = 0.14 \text{ cm/s}$$

Velocidad horizontal máxima ( $V_{hmax}$ ):

$$V_{hmax} = 20V_s = 20 * 0.14 \text{ cm/s} = 2.8 \text{ cm/s}$$

La velocidad horizontal debe ser menor que la velocidad de arrastre de las partículas ( $V_h < V_r$ ), con el propósito de evitar la resuspension del sedimento (17), por lo tanto:

$$V_r = \sqrt{\frac{8kgd(\rho_s - \rho)}{f}}$$

$k$  = constante de sedimentacion de arenas 0.04

$f$  = constante de sedimentacion por la simple accion de la gravedad 0.03

$d$  = diametro de la particula

$\rho_s$  = peso especifico de la particula de arena

$\rho$  = peso especifico del agua

$g$  = aceleracion de la gravedad  $\text{cm/s}^2$

$$V_r = \sqrt{\frac{8 * 0.04 * 980 \frac{cm}{seg^2} * 0.004 cm (2.65 - 1)}{0.03}} = 8.30 cm/s$$

0.14 cm/s < 8.30 cm/s (Cumple)

En el Anexo A se muestran los planos con las dimensiones reales y zonas que integran la unidad propuesta para la remoción de partículas discretas del agua captada de la quebrada la Mojana (desarenador), con los parámetros de diseño estipulados por el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS 2000 (17) y profundizado por los criterios teóricos planteados en el libro Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillados (13). (Incluyendo cálculos pertinentes).

### 7.3 Filtración

Al ser evaluada las unidades de filtración de la planta de tratamiento y de comparar todos sus parámetros con el RAS 2000 (17), se encontró que éstas no presentan mayores fallas en su funcionamiento y composición; por lo cual solo se recomienda adoptar el tiempo de lavado óptimo de acuerdo a lo mostrado a continuación.

En la planta, el tiempo óptimo del lavado de los filtros se determinó graficando el logaritmo natural de la turbiedad del agua efluente (desagüe) en función del tiempo de lavado. Se selecciona el tiempo en que la curva de la gráfica se comporte asintóticamente con respecto al eje vertical; este es el punto donde se inicia la recta, y se toma como el tiempo óptimo, como se puede apreciar en las curvas de la gráfica 3.

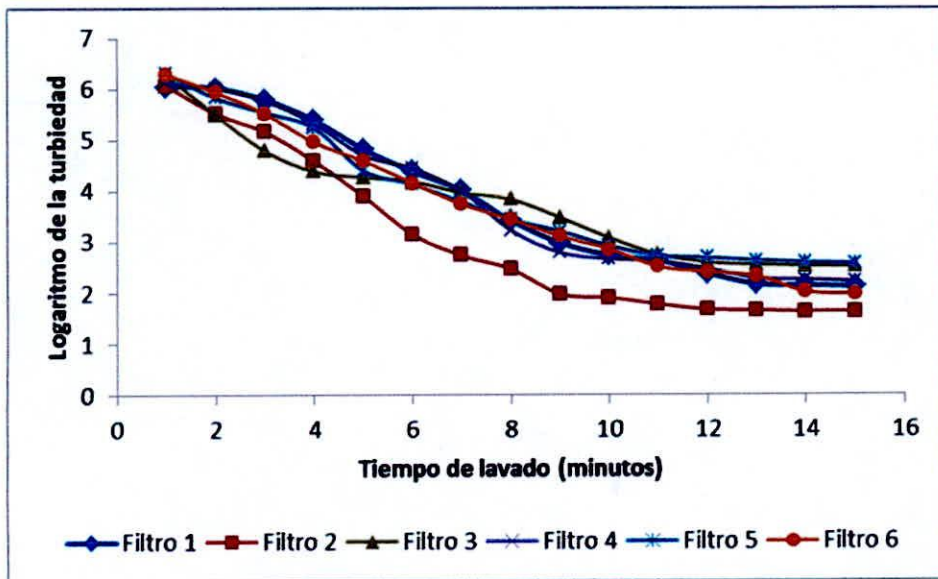


De acuerdo con los resultados presentados en la gráfica 3, el tiempo óptimo de lavado oscila entre 14 y 15 minutos. Después de este tiempo no tiene sentido alargar el proceso de lavado, ya que no se obtiene una disminución significativa en la turbiedad del efluente y adicionalmente, implica realizar un gasto de agua innecesario.

En la tabla 28, se relacionan los valores de la turbiedad del agua efluente para diferentes tiempos de lavado, de cada filtro.

**Tabla 28 Turbiedad del agua de lavado a diferentes tiempos**

TURBIEDADES AGUA EFLUENTE DEL LAVADO (U.N.T.)						
TIEMPO (minutos)	FILTRO 1	FILTRO 2	FILTRO 3	FILTRO 4	FILTRO 5	FILTRO 6
1	424,5	434,1	530,2	460,3	550,1	540,2
2	415,3	250,2	245,1	410,8	340,3	380,3
3	330,7	175,1	120,6	320,7	254,4	250,5
4	220,6	98,5	80,3	205,9	188,8	142,7
5	125	49,5	71,5	110,3	81,6	98,8
6	80,1	23,3	65,9	85,1	62,4	63,8
7	55,2	15,4	52,7	54,4	44,3	42,1
8	30,5	11,8	46,2	25,3	31,2	31,3
9	19,6	7,2	32,3	16,2	24,7	22,4
10	15,4	6,7	21,7	14,4	18,5	17,4
11	13,9	5,9	15,6	13,7	15,2	12,3
12	10,7	5,3	13,4	11,8	14,7	11,1
13	8,7	5,2	12,8	9,8	13,9	10,2
14	8,5	5,1	12,5	9,5	13,4	7,5
15	8,3	5,1	12,4	9,2	13,1	7,2



**Grafica 3** *Proceso de lavado de los filtros*

## **7.4 Sistema de Desinfección**

### **7.4.1 Dosificador de cabeza constante**

Para el sistema de desinfección los investigadores construimos y donamos al acueducto un dosificador de cabeza constante para garantizar una dosificación continua durante un determinado periodo de tiempo, en lugar de la dosificación “por paquetes” de agua.

El dosificador de cabeza constante (ver anexos, foto 12) es una estructura hecha con tubería de PVC presión de ½”, que se ubica dentro de un tanque de disolución de 500 litros. En la parte del dosificador sumergida en la disolución se le hicieron dos orificios, por donde entra la solución de hipoclorito de calcio durante 18 horas continuas hasta cuando el tanque de 500 litros queda completamente vacío.

La solución preparada es transportada por una tubería flexible, ubicada en la parte inferior del dosificador, hasta el efluente de los filtros, justo antes de entrar al tanque de almacenamiento (ver anexos, foto 13), garantizando así una dosificación continua durante un periodo de tiempo.

- **Determinación del caudal de dosificación, con diferentes orificios.**

A continuación se muestran los resultados de la determinación del caudal del dosificador de cabeza constante, aportado por los investigadores. En las Tabla 29 y 30 se presentan los volúmenes de solución vertidos en diferentes tiempos de aforo, utilizando uno y dos orificios respectivamente.



**Tabla 29 Caudal del dosificador con un solo orificio**

Volumen vertido (ml)	Tiempo de aforo (s)	Caudal (ml/s)
112	28,12	3,98
98	24,54	3,99
122	30,35	4,02
110	28,06	3,92
98	27,72	3,54
112	28,5	3,93
143	36,25	3,94
130	32,75	3,97
115	29,59	3,89
112	28,5	3,93
<b>Caudal Promedio</b>		<b>3.91</b>

**Tabla 30 Caudal del dosificador con dos orificios**

Volumen vertido (ml)	Tiempo de aforo (s)	Caudal (ml/s)
124	16	7,75
131	16,37	8,00
122	15,5	7,87
146	18,69	7,81
115	14,75	7,80
134	17,09	7,84
83	10,72	7,74
94	12,37	7,60
106	13,78	7,69
123	16,25	7,57
<b>Caudal Promedio</b>		<b>7.77</b>

- **Tiempo máximo de dosificación continua.**

Con base en el caudal del dosificador, para uno y dos orificios, y el volumen máximo de disolución posible en el tanque de dosificación, se determinó el tiempo máximo de dosificación continua, para cada caso.

a) Operando el dosificador con un orificio

$$3.91 \text{ ml/s} \times \frac{1 \text{ l}}{1000 \text{ ml}} = 0.0043 \text{ l/s}$$

$$\frac{500 \text{ l}}{0.0043 \frac{\text{l}}{\text{s}}} = 116279.06 \text{ s} \times \frac{1 \text{ hora}}{3600 \text{ s}} = 32 \text{ horas aproximadas}$$

b) Operando el dosificador con dos orificios

$$7.77 \text{ ml/s} \times \frac{1 \text{ l}}{1000 \text{ ml}} = 0.0077 \text{ l/s}$$

$$\frac{500 \text{ l}}{0.0077 \text{ l/s}} = 64935.06 \text{ s} \times \frac{1 \text{ hora}}{3600 \text{ s}} = 18 \text{ horas aproximadas}$$

Teniendo en cuenta los dos resultados se decidió operar el sistema funcionando con dos orificios.

- **Determinación de la cantidad de producto desinfectante**

Teniendo en cuenta que el dosificador desocupa completamente el tanque de solución en 18 horas, se recomendó preparar solución cada 16 horas, con el fin de no interrumpir la dosificación.

A continuación se presenta, a nivel de guía, la forma de calcular la cantidad de hipoclorito de calcio a disolver para una dosificación continua de 16 horas, para una determinada dosis.

Estos cálculos hay que realizarlos cada vez que se cambie la demanda de cloro.

Es importante resaltar que los investigadores capacitaron al operador del sistema de tratamiento en el manejo no solo del dosificador, sino en los cambios de dosificación con base en la concentración de cloro residual encontrada en los diferentes puntos de muestreo.

Determinamos la cantidad de hipoclorito de calcio granular necesario para las 18 horas que dura el tanque de 500 litros con el dosificador en quedar vacío.

$$C_p = \frac{Q_p \times D}{\rho}$$

$Q_p$  = Caudal de la planta

$D$  = dosis de producto asumida

$\rho$  = densidad del producto

$$C_p = \frac{9.86 \text{ l/s} \times 3 \text{ mg/l}}{0.65} = 45.5 \text{ mg/s} \times 64800 \text{ s}$$

$$C_p = 2948400 \text{ mg} = 2948.4 \text{ gr}$$

Este resultado nos indica que cada 18 horas el operario debe disolver 2948,4gr de hipoclorito de calcio (aproximadamente 2.95Kg, en el tanque de 500 litros para tener una dosificación continua en el sistema.

Con el dosificador en funcionamiento se tomaron nuevamente muestras de agua para determinar la concentración de cloro residual en la red de distribución, con el kit ortotolidina, en los tres puntos representativos descritos anteriormente. Ver resultados en la tabla 31.



**Tabla 31 Determinación de cloro residual después de la optimización del sistema de desinfección**

No.	Fecha	Sitio de muestreo	Cloro residual (mg/l)
1	Feb. 14 de 2010	Familia Pérez Viloria. Grifo patio	1.5
2	Feb. 14 de 2010	Familia Araujo Pérez. Grifo Cocina	0.5
3	Feb.14 de 2010	Familia Ortega Fernández. Grifo Baño	0.3
4	Feb. 21 de 2010	Familia Pérez Viloria. Grifo patio	1.0
6	Feb. 21 de 2010	Familia Araujo Pérez. Grifo Cocina	0.5
5	Feb. 21 de 2010	Familia Ortega Fernández. Grifo Baño	0.5
8	Feb. 28 de 2010	Familia Pérez Viloria. Grifo patio	1.5
7	Feb. 28 de 2010	Familia Araujo Pérez. Grifo Cocina	0.5
9	Feb. 28 de 2010	Familia Ortega Fernández. Grifo Baño	0.3

Como podemos observar los resultados obtenidos de las concentraciones de cloro residual después de la optimización del sistema de desinfección, son satisfactorios ya que se encuentra dentro del rango de 0.3mg/l y 2.0mg/l, establecido por la Resolución 2115 del 22 de Junio de 2007 para agua potable.

- Se diseñó y construyó un dosificador de cabeza constante para garantizar la dosificación continua del producto y asegurar la permanencia de cloro residual en la red de distribución del corregimiento de Santa Rosalía.



## BIBLIOGRAFIA

1. Agencia de Cooperación Técnica Alemana – GTZ. Perú. Gobierno Regional de Arequipa. Proyecto gestión de riesgo de desastres naturales con enfoque de seguridad alimentaria PGRD COPASA - GTZ. Agencia de Cooperación Técnica Alemana – GTZ. Manual de operación y mantenimiento de sistemas de agua para consumo humano. serie de divulgación no. 2.
2. ALCALDÍA MUNICIPAL ZONA BANANERA. Prado Sevilla.
3. APHA. Standard Methods of Analisis of water and Wastewater. 1998.
4. ARBOLEDA, Jorge. Teoría y práctica de la purificación del agua. Editorial Mc GrawHill. Bogotá. 2000.
5. CEPIS. Pérez Carrión, José; Cánepa de Vargas, Lidia; Castro de Esparza, María Luisa. Guías para evaluación de plantas de tratamiento de agua para el medio rural.
6. CEPIS. Pérez Carrión. Programa de control de calidad del agua potable en Colombia. 22 de Septiembre de 1977.
7. CEPIS. Pérez Carrión. Elaboración de documentos previos al curso de evaluación del estado del tratamiento y control de calidad del agua en Colombia. 23 de Junio de 1980.
8. CEPIS. Programa regional para la promoción del uso de tecnologías apropiadas en saneamiento básico. <http://www.cepis-oms.org/>



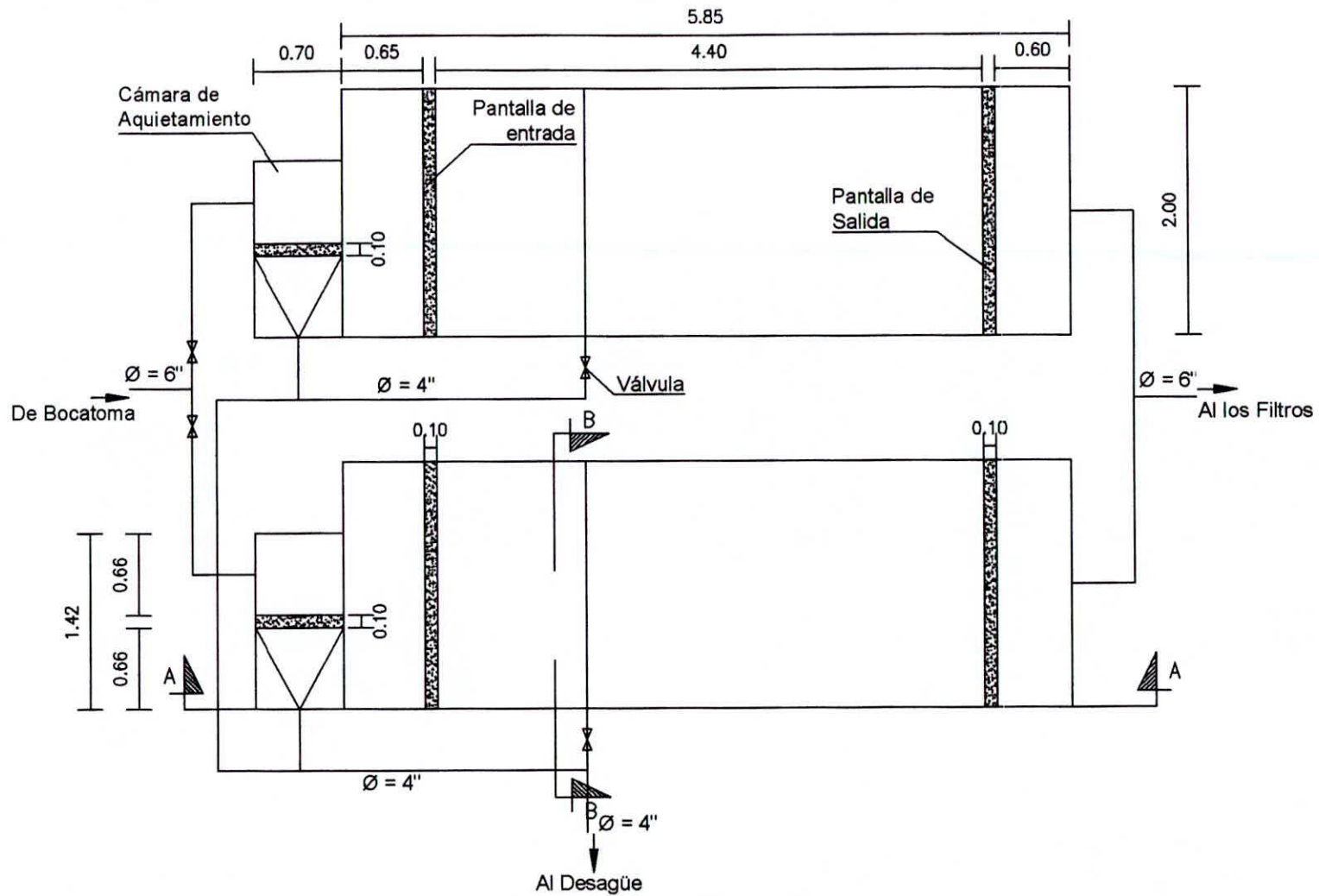
9. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente – CEPIS. Agüero, Roger. Procedimientos para la operación y mantenimiento de captaciones y reservorios de almacenamiento.
10. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente – CEPIS. Moreno, Juan. Operación y mantenimiento de obras de captación por gravedad de agua superficial.
11. CORCHO Freddy y Duque José. Acueductos Teoría y diseño. Universidad de Medellín. Centro general de investigaciones. Medellín.
12. INGEAGUAS S.A., Manual de operación de la planta de potabilización del corregimiento de Santa Rosalía, Zona Bananera, Magdalena 1999.
13. LOPEZ CUALLA, Ricardo. Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillados. Santafé de Bogotá, 1995.
14. OMS. Guías para la calidad del agua potable, primer apéndice a la tercera edición, volumen 1, recomendaciones, 2006
15. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. Módulos de evaluación, operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua para consumo humano. Bogotá. Ministerio de Salud de Colombia. 1989.
16. PROYECCIONES MUNICIPALES DE POBLACIÓN POR ÁREA 2005 - 2011. DANE. Magdalena. 2000.
17. REGLAMENTO TÉCNICO DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO (R.A.S.). Ministerio de Desarrollo. Bogotá. 2000.

18. Servicio Universitario Mundial del Canadá - SUM CANADA. Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Chancay - EMAPA CHANCAY. Servicio Universitario Mundial del Canadá - SUM CANADA. Actualización del diagnóstico de los sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario de la ciudad de chancay. diagnóstico del sistema de agua potable. volumen I.
19. WOLFENDEN, H.H., Population Statistics and Their Compilation, Chicago: The Univ. of Chicago Press, (1954), pag. 80.
20. <http://www.pnuma.org/reclnat/esp/documentos/cap1.pdf>
21. [http://es.wikipedia.org/wiki/Agua\\_potable\\_y\\_saneamiento\\_en\\_Colombia](http://es.wikipedia.org/wiki/Agua_potable_y_saneamiento_en_Colombia)
22. OMS/UNICEF Joint Monitoring Program Water (2006). «Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation. Coverage Estimates Improved Drinking Water.»

# **ANEXOS**



**ANEXO A ESQUEMAS GENERALES Y  
PLANTA**



**PLANTA DESARENADOR**

DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA  
CORREGIMIENTO DE SANTA ROSALIA

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA  
PARA CONSUMO HUMANO

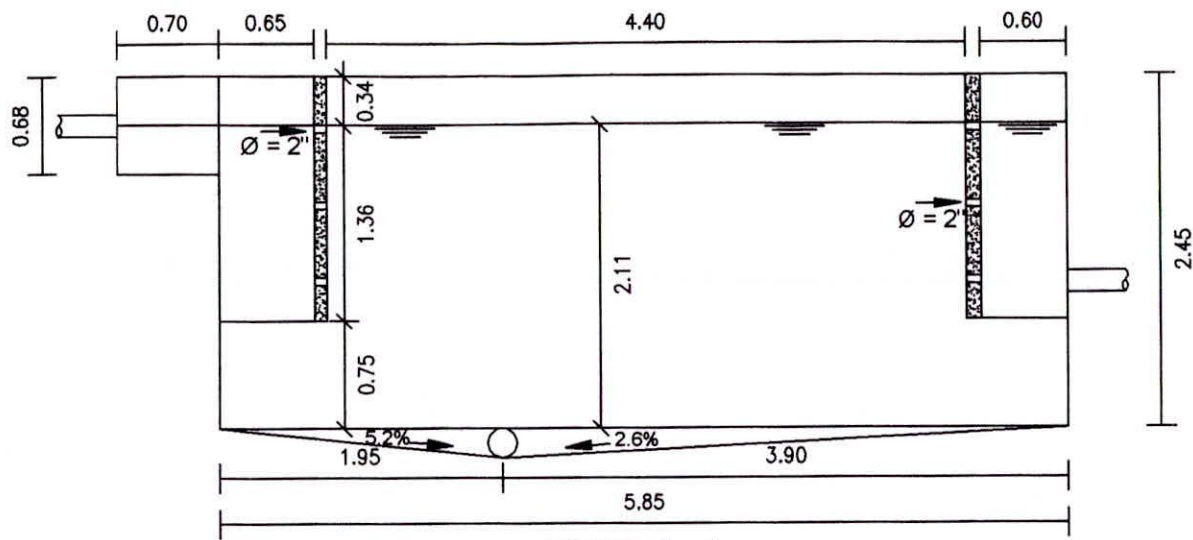
**PLANTA DESARENADOR**

Elaborado Por:  
JAVIER FERNANDEZ  
ARNOLD DIAZ

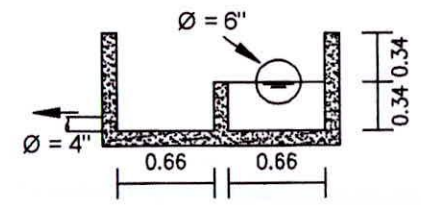
Fecha:  
OCTUBRE 2010

Escala:  
1:50

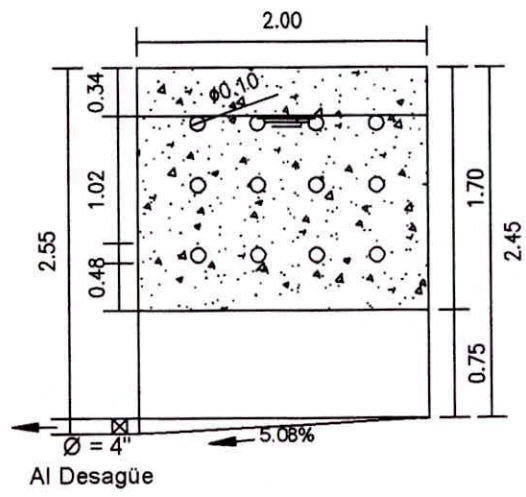
Plano:  
1 de 3



**CORTE A - A**

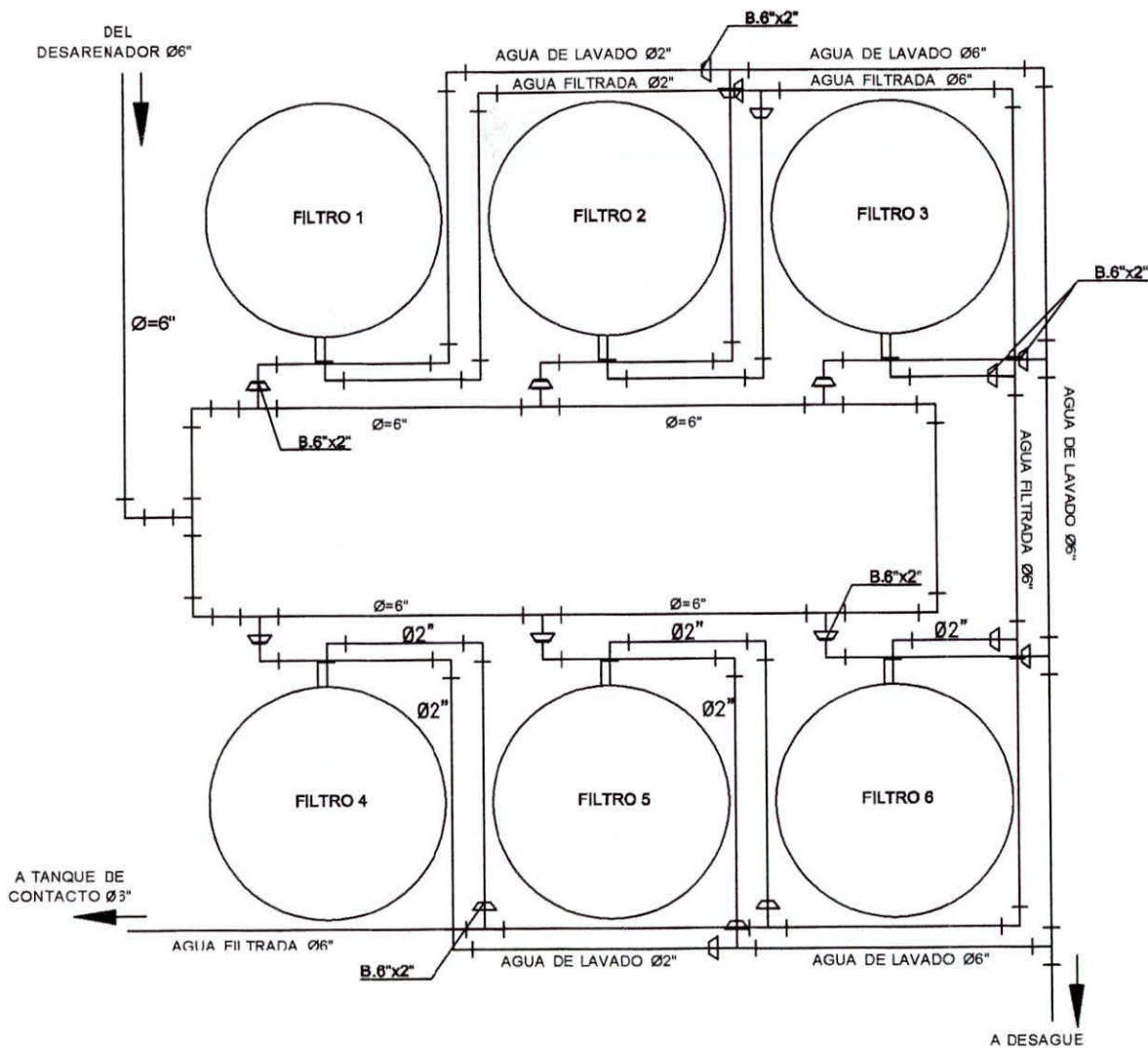


**DETALLE CAMARA**

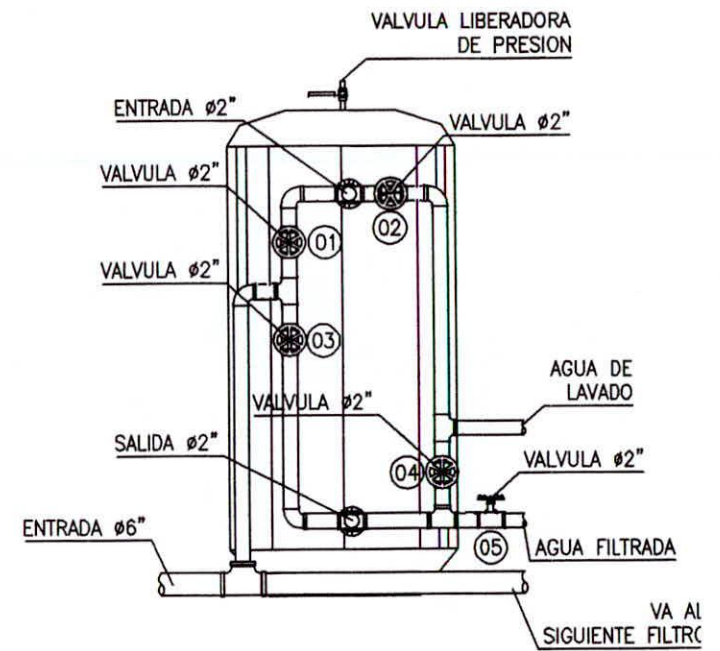


**CORTE B - B**

<b>DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA CORREGIMIENTO DE SANTA ROSALIA</b>			
<b>PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO</b>			
<b>CORTES DESARENADOR</b>			
<b>Elaborado Por:</b> JAVIER FERNANDEZ ARNOLD DIAZ	<b>Fecha:</b> OCTUBRE 2010	<b>Escala:</b> 1:50	<b>Plano:</b> 2 de 3



**PLANTA FILTROS**  
Escala 1:30



- |                            |                            |
|----------------------------|----------------------------|
| <b>FILTRANDO:</b>          | <b>LAVANDO:</b>            |
| Válvulas 1 y 5 Abiertas    | Válvulas 2 y 3 Abiertas    |
| Válvulas 2, 3 y 4 Cerradas | Válvulas 1, 4 y 5 Cerradas |

**DETALLE DE FILTRO**

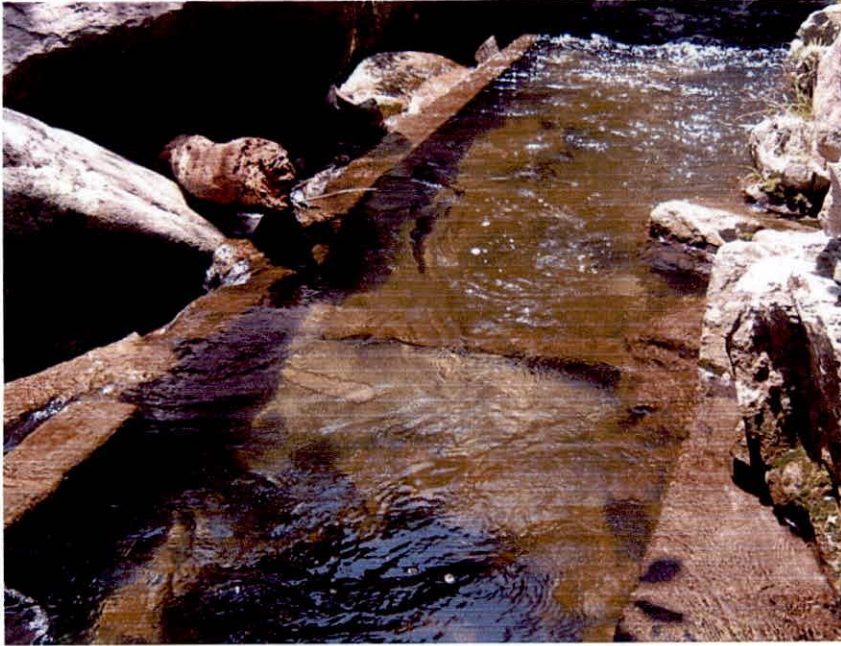
DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA  
CORREGIMIENTO DE SANTA ROSALIA

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA  
PARA CONSUMO HUMANO

PLANTA FILTROS Y DETALLE



## **ANEXO B REGISTRO FOTOGRÁFICO**



**Foto 1 Bocatoma**



**Foto 2 Rejillas retenedoras de sólidos**





**Foto 3 Tubería de aducción**



**Foto 4 Soportes de la tubería de aducción**





**Foto 5 Entrada de agua al desarenador**



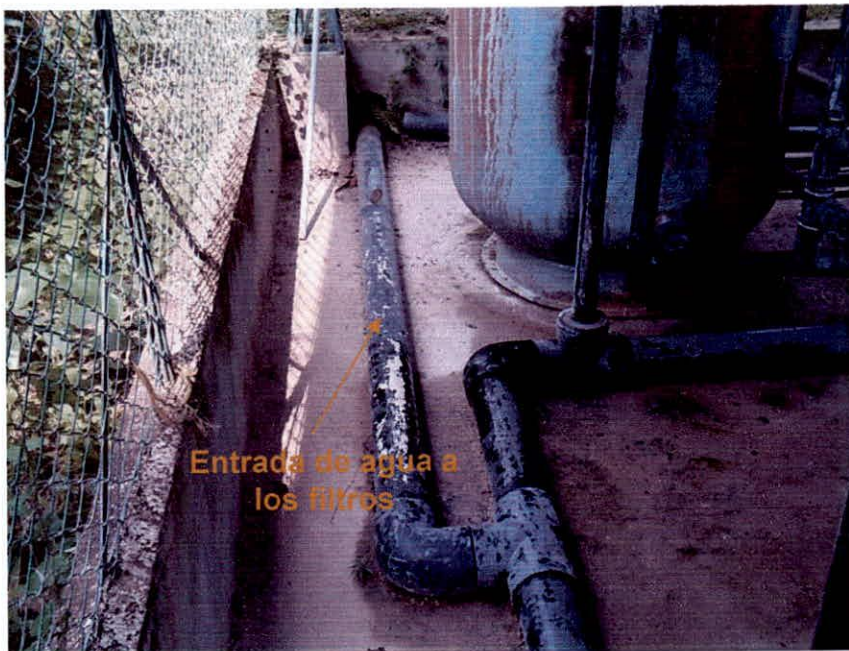
**Foto 6 Desarenador**







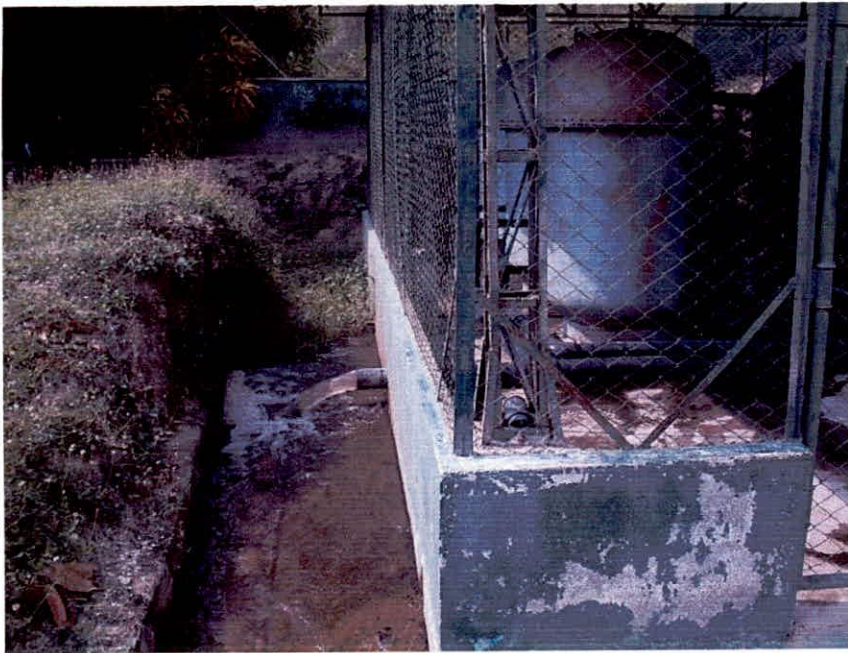
**Foto 7 Vista en planta del Desarenador**



**Foto 8 Entrada de agua a la batería de filtros**

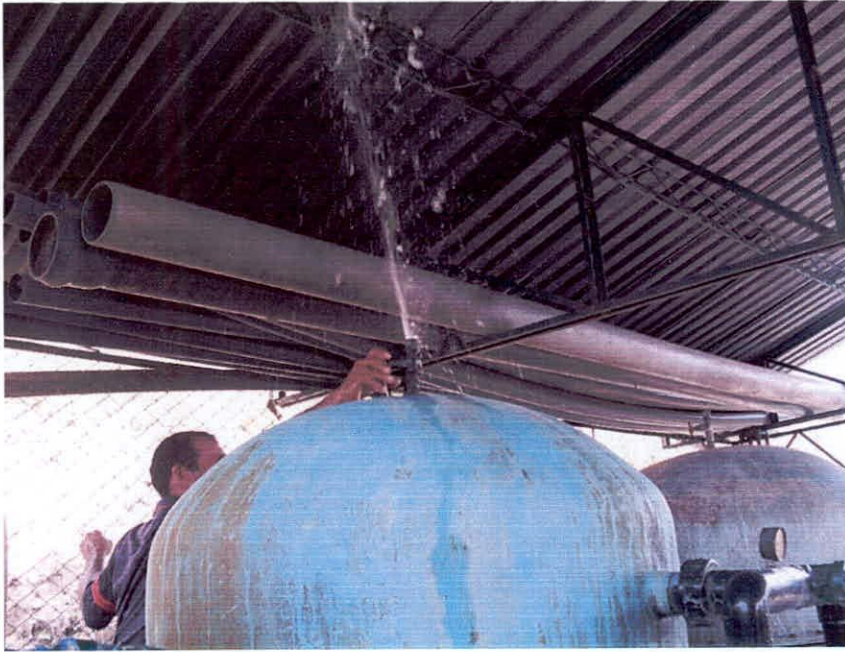


**Foto 9 Bateria de filtros a presión**

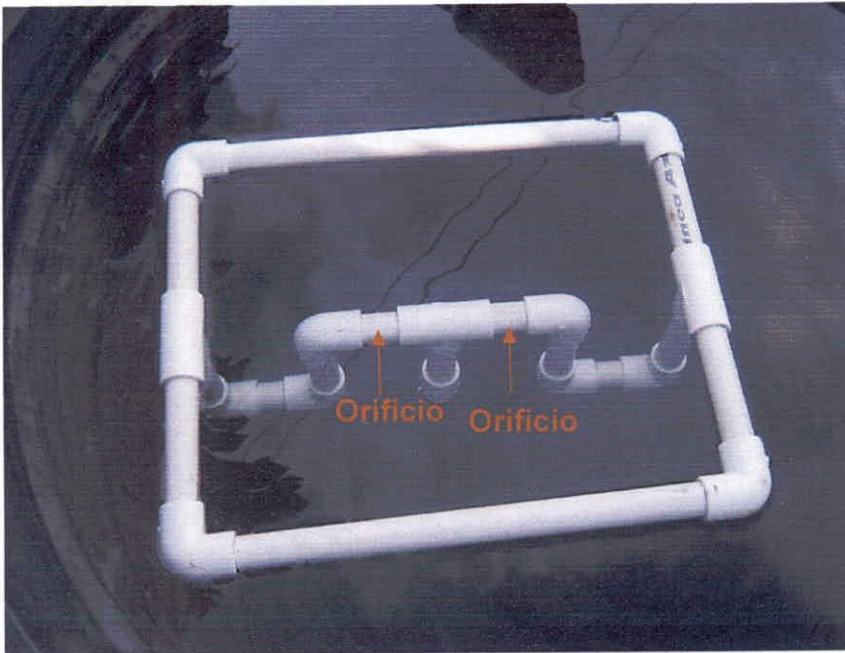


**Foto 10 Lavado de filtros**



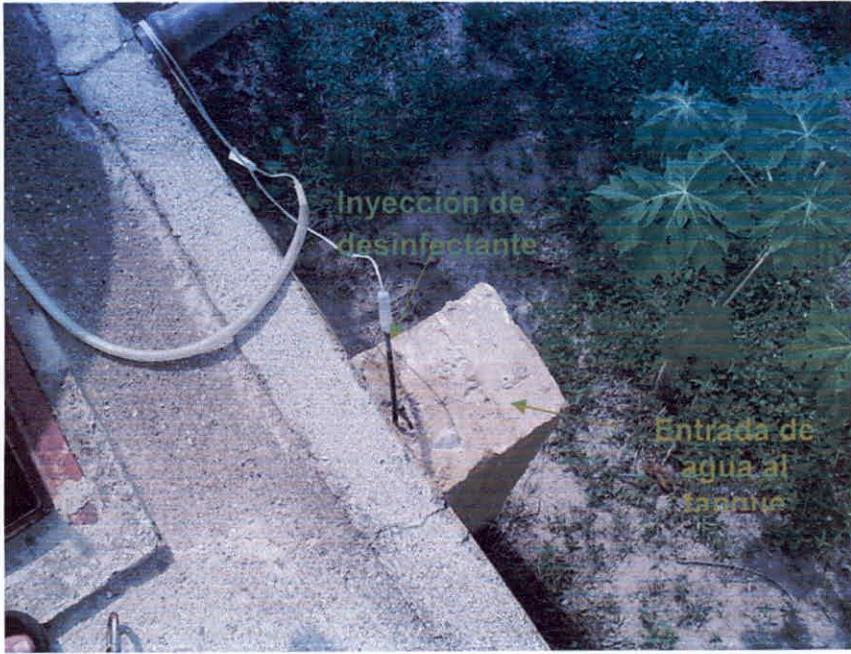


**Foto 11** *Válvula para liberar presión del los filtros*



**Foto 12** *Dosificador de cabeza constante*





**Foto 13** *Entrada de agua al tanque de almacenamiento*



**Foto 14** *Tanque de 500l utilizado para la desinfección*

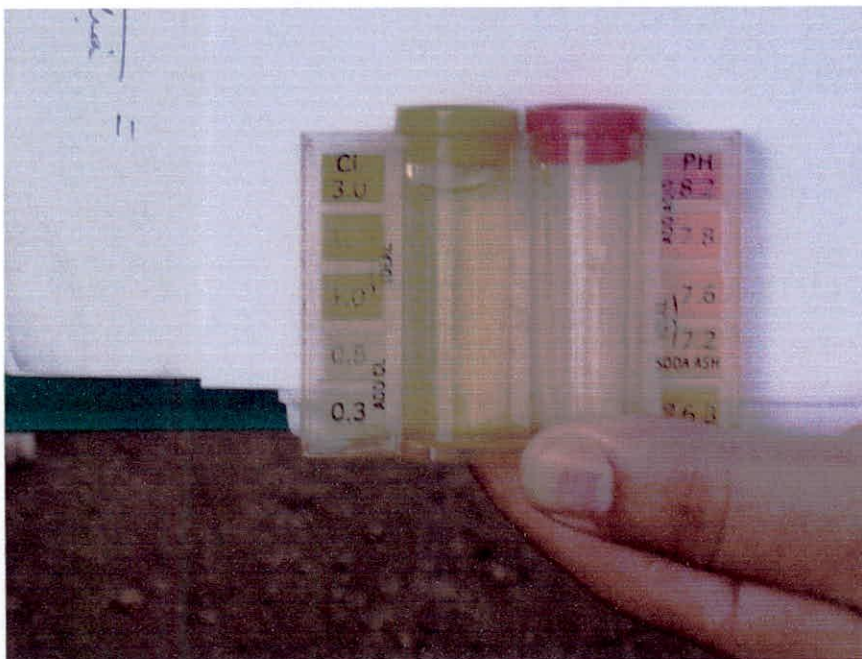


**Foto 15 Tanque de almacenamiento capacidad 200m<sup>3</sup>**

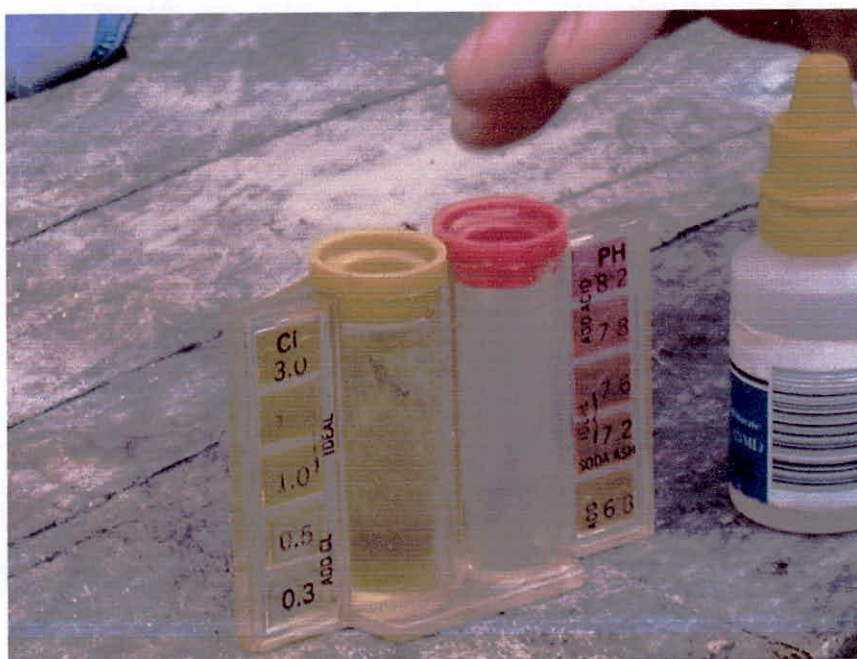


**Foto 16 Kit ortotolidina**



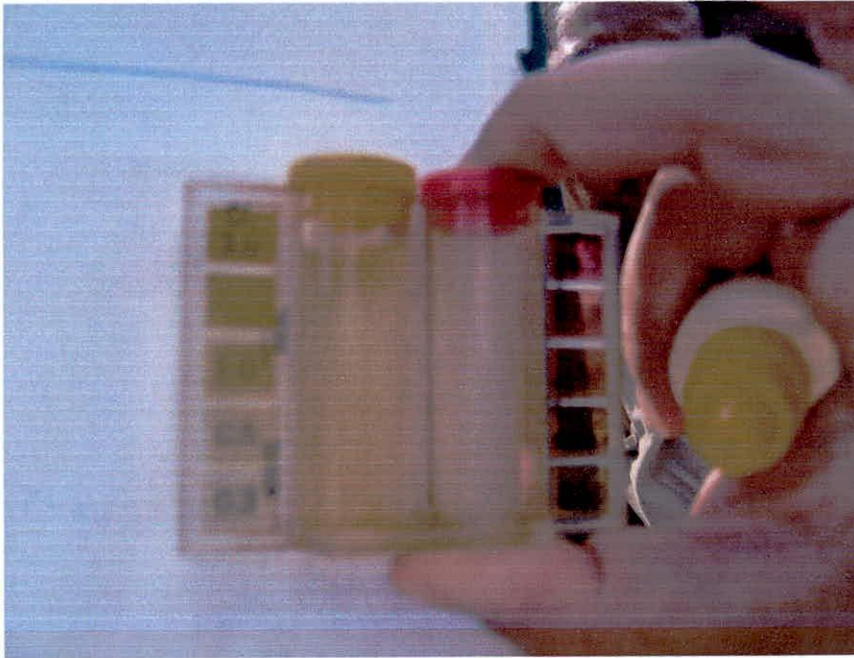


**Foto 17 Muestra de cloro residual en la red de distribución punto #1**

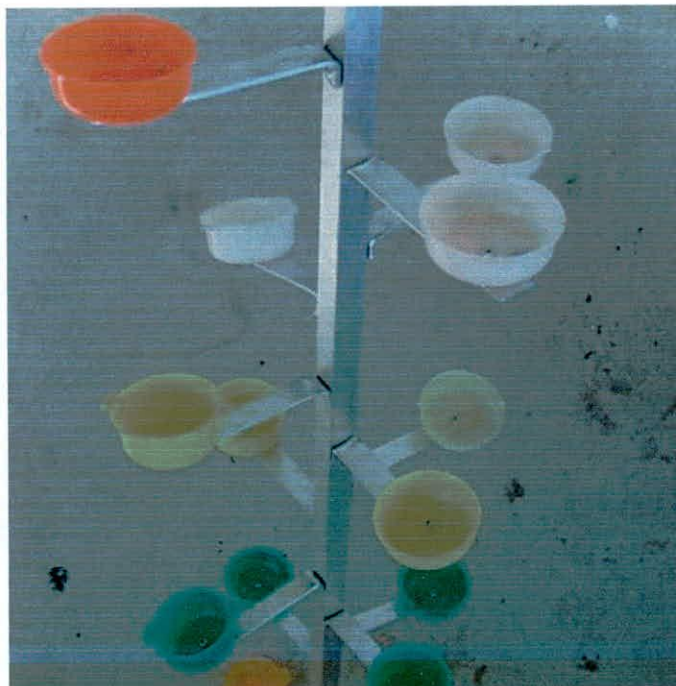


**Foto 18 Muestra de cloro residual en la red de distribución punto #2**





**Foto 19 Muestra de cloro residual en la red de distribución punto #3**



**Foto 20 Equipo para medir expansión del filtro**