



# **SOFWARE DE DISEÑO FLOCULADOR DE MEDIO POROSO Y SEDIMENTADOR DE MANTO DE LADOS EN UN SOLO CUERPO**

**Edgar Augusto Piedrahita Gómez**

Corporación Universitaria Minuto de Dios  
Facultad de Educación Virtual y Distancia  
Medellín, Colombia  
2015

II SOFTWARE DE DISEÑO FLOCULADOR DE MEDIO POROSO Y SEDIMENTADOR  
DE MANTO DE LODOS EN UN SOLO CUERPO

---

SOFWARE DE DISEÑO FLOCULADOR DE MEDIO POROSO Y SEDIMENTADOR DE CONTACTO EN UN SOLO CUERPO

**SOFWARE DE DISEÑO FLOCULADOR DE MEDIO POROSO Y  
SEDIMENTADOR DE CONTACTO EN UN SOLO CUERPO**

**Edgar Augusto Piedrahita Gómez**

Trabajo final presentado como requisito parcial para optar al título de:

**Especialista en Gerencia de Proyectos**

Director:  
Ingeniero civil Daniel Rojas Rodríguez

Corporación Universitaria Minuto de Dios  
Facultad de Educación Virtual y Distancia  
Medellín, Colombia

2015



## Dedicatoria

*A Dios por su grandeza.*

*A mis padres Rosa y Libardo, a mis hermanos, que con su amor y gran esfuerzo me colaboraron a ser lo que soy hoy.*

*A mi esposa María e hijo Libardo, por su amor, apoyo y dedicación.*

*A mis profesores, compañeros de estudio y trabajo que de muchas maneras contribuyeron a la culminación de este trabajo.*

## **Agradecimientos**

Expreso mi gratitud a William Daniel Rojas Rodríguez coordinador de este proyecto por su dedicación y apoyo.

A los ingenieros Clara Inés Jaramillo Londoño, John Fernando Jaramillo Villegas y Diana Marina Salazar Serna, por su apoyo y observaciones.

---

## Contenido

Agradecimientos.....	VI
Contenido.....	1
Lista de figuras.....	IX
Lista de tablas.....	X
Introducción.....	1
1. Planteamiento del problema.....	3
1.1 Antecedentes.....	3
1.2 Formulación de la pregunta.....	4
1.3 Descripción del problema.....	4
2. Objetivos.....	5
2.1 Objetivo General.....	5
2.2 Objetivos Específicos.....	5
3. Justificación.....	6
4. Marco Teórico.....	7
5. Diseño metodológico.....	22
5.1 Enfoque.....	22
5.2 Tipo de estudio o Nivel de investigación.....	22
5.3 Método de estudio.....	22

5.4	Población y muestra .....	23
5.5	Variables .....	23
5.6	Instrumento de recolección de información.....	24
6.	Trabajo Final .....	25
6.1	Desarrollo y sistematización de la propuesta.....	25
6.2	Resultados trabajo final .....	25
7.	Conclusiones y recomendaciones.....	30
7.1	Conclusiones .....	30
7.2	Recomendaciones .....	31
	Referencias .....	32
A.	Anexo: Planta y corte transversal del sistema compacto. ....	35



## Lista de figuras

Figura 4-1 Floculador de medio poroso de flujo ascendente. ....	11
Figura 4-2: Equipo Jar-test.....	16
Figura 4-3: Curvas para calibrar el gradiente de velocidad.....	16
Figura 6-1: Planta y corte transversal sistema compacto.....	29

## Lista de tablas

Tabla 4-1: Factores de forma y porosidad de materiales granulares típicos .....	18
Tabla 6-1: Condiciones prueba dosis óptima.....	26
Tabla 6-2: Resultados de los ensayos.....	27
Tabla 6-3: Tabla de valores críticos de parámetros de floculación.....	27
Tabla 6-4: G*T definitivo.....	27
Tabla 6-5: Modelo de Cálculo definitivo .....	28
Tabla 6-6: G*T programa CAPLA.....	29

## Introducción

En el presente trabajo se desarrollara un software de cálculo que analice y diseñe un sistema de floculación y sedimentación en un solo cuerpo, este desarrollo soluciona el problema de obstrucción en los floculadores porosos que están en funcionamiento en el medio, las causa de dicha obstrucción, es el no manejar gradientes óptimos en su funcionamiento. El algoritmo resuelve el modelo y se obtiene geometrías con gradientes y variables hidráulicas óptimas de acuerdo a la calidad fisicoquímica del agua natural,

Si el sistema se diseña con este software se genera régimen de flujo auto limpiantes que no permiten depósito en los granos. El sistema contara con división en compartimientos para el retro lavado de los granos, aumentando las jornadas de trabajo, por el contrario de algunos floculadores porosos actuales que en ocasiones se ha tomado la decisión de retiro el lecho por colmatación porque además de la sedimentación que se lleva a cabo en el lecho no cuenta con sistema de lavado, el retiro de los lodos se realiza con una simple descarga.

El sistema propuesto, requiere de menor espacio y es más económico que los sistemas convencionales, los sistemas tradicionales son dispositivos de mezcla, floculación y sedimentación que requieren de mayor área, volumen de infraestructura y sobre costos, dichas estructuras comúnmente se construyen en concreto reforzado.

En este trabajo se presenta un marco teórico que incluye la modelación matemática, de esta tecnología estimando las principales variables hidráulicas como velocidades, régimen de flujo, tiempos de permanencia, gradientes; segundo, un referente disciplinar donde se discriminan los contenidos matemáticos sobre los

cuales se realizó el algoritmo; tercero, se presenta una ilustración del funcionamiento de la plataforma de diseño del floculador sedimentador en un solo cuerpo, cuarto las conclusiones que se desprenden del trabajo realizado y por último se presentan las referencias.

# 1. Planteamiento del problema

## 1.1 Antecedentes

En un mundo caracterizado por rápidos y complejos cambios, a los ingenieros cada vez se les presenta problemas más difíciles en cuanto al tratamiento del agua, fuentes cada vez más contaminadas producto de las diferentes actividades, industrial, domestica, agrícola, realizadas por el hombre.

Por esto, cada vez aumenta la necesidad de enfrentar estas condiciones de un modo creativo e innovador, proponiendo sistemas cada vez más eficientes y económicos.

Con base en estudios y experiencias obtenidas en el posgrado en recursos hidráulicos de la facultad de Minas de la universidad Nacional de Colombia (sede Medellín), el laboratorio de hidráulica de dicha universidad, bajo la dirección del reconocido investigador, el profesor Jorge Pérez, que se referencia al final de este trabajo, se han tenido plantas pilotos de medios porosos construidas para su investigación y donde se validó su eficiencia y economía. Se evidencio la eficiencia del proceso que en una sola unidad de equipo mínimo de fácil construcción, mantenimiento, manejo operativo, versátil y de bajo costo, menos del 30%, comparada con las convencionales.

Este equipo de investigadores en el ámbito de la ingeniería civil y ambiental durante sus estudios y ejercicio profesional. Han Diseñado y ejecutado proyectos usando este tipo de tecnologías, los medios porosos, sistemas que han venido trabajando eficientemente y que vale la pena continuar mejorando y optimizando en su parte técnica, económica y ambiental.

A pesar de esto, dichos sistemas aún son experimentales en Colombia y no están formalizados en el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS-2000 de la república de Colombia expedido por el ministerio de desarrollo económico.

## 1.2 Formulación de la pregunta

En virtud de lo anterior, el presente trabajo se orienta al dar solución a los problemas actuales de tratamiento de agua para consumo humano y busca responder los siguientes interrogantes:

¿Existe un compromiso de los ingenieros civiles y ambientales en desarrollar sistemas de tratamiento de agua usando el mínimo espacio y costo, que utilicen la energía hidráulica y no requieran equipos electromecánicos y Disminución de la vulnerabilidad del reactor por falla de sus componentes o por suspensión del fluido eléctrico?

¿Se está estudiando la forma más adecuada de retiro de los lodos de floculador y sedimentador, dando solución al problema de remoción de lodos y obstrucción en los Floculadores de medios porosos y sedimentadores de contacto con sólidos suspendidos que requieren del vaciado total de la estructura y retiro de lodos manualmente?

## 1.3 Descripción del problema

investigadores en el ámbito de la ingeniería civil y ambiental de la universidad nacional, inquietos por la disminución del espacio y costo de los sistemas de tratamiento, han venido trabajando plantas pilotos con floculadores de medios porosos y sedimentación de alta tasa en un solo cuerpo, con buenos resultados cuando funcionan con el caudal de diseño y características fisicoquímicas de agua natural de diseño, cuando se disminuye el caudal de diseño o varían las

---

condiciones fisicoquímicas se presenta por su gran eficiencia, formación rápida del floc y depósito de este en el lecho poroso y como consecuencia de esto la obstrucción del sistema, para este evento se proyecta un vaciado de la estructura para el retiro de los lodos, pero este procedimiento algunas veces no es suficiente, en este caso se presenta colmatación del sistema.

## **2.Objetivos**

### **2.1 Objetivo General**

Diseño de software para definir geometría de un sistema de tratamiento de aguas, se va a investigar el tema del depósito de partículas y retiro de lodos en floculadores de medio poroso, para evitar obstrucción, con el programa se manejarán todas las variables hidráulicas para los diferentes caudales y condiciones fisicoquímicas de agua natural, para evitar colmatación, que el sistema sea una verdadera solución de gran economía en los proyectos, con tecnología apropiada, eficiente, económica para grandes y pequeñas comunidades.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Definir el diseño básico de un sistema de tratamiento de agua, con floculador y sedimentador en un solo cuerpo, que utilicen la energía hidráulica, no requiera equipos electromecánicos, ni consumo de energía eléctrica, mínimo tiempo de residencia y espacio a ocupar, definir gravas adecuadas, sistema de retro lavado y retiro de lodos que reduzcan el impacto ambiental.
- Definir algoritmo, lenguaje y código, que sea rápido y eficiente.
- Desarrollar un Software de diseño básico y operación de un sistema floculador medio poroso y sedimentador de contacto con partículas sólidas en un solo cuerpo para tratamiento de aguas potables que considere las

diferentes variables hidráulicas y características fisicoquímicas de la fuente y así evitar la obstrucción.

### **3. Justificación**

Esta investigación se amerita por la importancia que tiene presentar desarrollos de sistemas de tratamiento de agua con tecnología eficiente, factible y viable, con materiales aluviales que se encuentran con facilidad en nuestro medio, reduciendo espacio y costos, de esta forma dejar documentado un sistema al alcance de grandes y pequeñas comunidades.



---

## 4. Marco Teórico

Floculador sedimentador compacto, consiste en un sistema de clarificación de aguas constituido por un floculador en medio poroso y un sedimentador de contacto con sólidos suspendidos en un solo cuerpo. La floculación en lechos porosos consiste en un lecho de grava, a través del cual se hace circular un determinado caudal del agua a tratar, el agua se mezcla íntimamente con el coagulante, para lograr la formación de los floc, que en una posterior sedimentación de manto de lodos, produzca la clarificación del agua (Pérez Parra, 1999).

En esta unidad el agua flocula al pasar a través de los espacios o poros de un material granulado, los cuales desempeñan la función de pequeños compartimientos (Pérez Parra, 1999).

Es una unidad hidráulica con un número casi infinito de cámaras o compartimientos, lo cual explica su gran eficiencia, como material granular, pueden utilizarse piedras, bolitas de plástico, residuos de las fábricas de plástico, segmentos de tubos o cualquier otro tipo de material similar no putrescible ni contaminante (CEPIS, 2014).

Las investigaciones realizadas hasta el momento solo permiten diseñar estos floculadores con piedra de 1/2" a 2" pulgadas, con piedras de tamaño mayor indican que no se puede lograr todo el rango de gradientes de velocidad para floculación variando el diámetro equivalente de las piedras u otro material similar (Pérez Parra, 1999).

*“A partir del estado actual del conocimiento, se recomienda diseñar esta unidad con flujo ascendente y forma troncocónica a fin de escalonar los gradientes de velocidad, manteniendo el tamaño del material constante para facilitar la limpieza. En este tipo de unidades, el tiempo de retención total es de apenas 5 a 10 min (efecto del infinito número de compartimientos de la unidad)”* (Canepa Vargas, 1977).

La información disponible sobre floculadores de piedras solo permite diseñar unidades para caudales de hasta 0.5 a 50 L/s (Romero Rojas, 2000).

La coagulación se refiere al proceso mediante el cual se añade y mezcla un coagulante al agua que desestabiliza las partículas suspendidas, se eliminan las fuerzas de repulsión que mantiene separadas las partículas, luego se aglutinan en pequeñas masas llamadas floc (Pérez Parra, 1999).

Los productos químicos más usados como coagulantes en el tratamiento de las aguas son el sulfato de aluminio, el sulfato ferroso y férrico. En nuestro caso se utilizara sulfato de aluminio, El químico puede estar en forma sólida o líquida. La sólida se presenta en placas compactas, gránulos de diverso tamaño y polvo. Su fórmula teórica es  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$ . Su concentración se define, en general, por su contenido en alúmina, expresada en  $Al_2O_3$ , es decir, 17% aproximadamente. La densidad aparente del sulfato de aluminio en polvo es del orden de 1.000 kg/m<sup>3</sup>. El contenido en alúmina  $Al_2O_3$  de la forma líquida fluctúa generalmente entre 8 y 8,5%; es decir, 48 a 49% en equivalente polvo o también 630 a 650 g de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$  por litro de solución acuosa (CEPIS,2014).

*“La floculación se refiere a la aglomeración de partículas coaguladas en partículas floculentas; es el proceso por el cual, una vez estabilizados los coloides, se provee a una mezcla suave de las partículas para incrementar la tasa de colisiones entre ellas sin romper o disturbar los agregados preformados.” Proceso durante el cual las partículas se aglomeran, incrementan su tamaño y adquieren mayor densidad. El floculador es, por lo tanto, un tanque con algún medio de mezcla suave y lenta, con un tiempo de retención relativamente prolongado (Pérez Parra, 1999).*

La mezcla lenta para floculación puede efectuarse mecánicamente, usando rotores de paletas, o hidráulicamente, como resultado del movimiento del agua. Los elementos principales de los sistemas de floculación mecánicos son: agitadores, motores de impulsión, reguladores y reductores de velocidad, sistemas de transmisión flechas y cojinetes; esto nos indica que los costos de operación y

---

mantenimiento son la principal desventaja frente a los floculadores hidráulicos (Canepa Vargas, 1977)

*“Se designa por sedimentación la operación por la cual se remueven las partículas sólidas de una suspensión mediante la fuerza de gravedad. Dos son las formas usadas en la purificación del agua: sedimentación simple y sedimentación después de coagulación y floculación” (Romero Rojas, 2000).*

La sedimentación simple es generalmente un tratamiento primario para reducir la carga de sólidos sedimentables antes de la coagulación; en esos casos se le conoce como pre sedimentación. La sedimentación después de la adición de coagulantes y de floculación se usa para remover los sólidos sedimentables que han sido producidos por el tratamiento químico, como el caso de eliminación de color y turbiedad (Canepa Vargas, 1977).

La sedimentación ocurre de maneras diferentes, según la naturaleza de los sólidos, su concentración y su grado de floculación. (Canepa Vargas, 1977)

En el agua se pueden encontrar partículas llamadas discretas, las cuales no cambian su tamaño, forma o peso cuando se sedimentan, y partículas floculentas y precipitantes en las cuales la densidad y el volumen cambia a medida que ellas se adhieren unas con otras mediante los mecanismos de floculación, precipitación, arrastre o barrido (Canepa Vargas, 1977).

La existencia de diferentes tipos de partículas en concentraciones distintas hace que sea necesario considerar tipos desiguales de sedimentación, los cuales son:

Sedimentación tipo 1: Se refiere a la eliminación de partículas discretas no floculentas en una suspensión diluida. Es el tipo de sedimentación que ocurre con partículas de características floculentas mínimas en suspensiones diluidas, como sería el caso de sedimentación de materiales pesados inertes (Canepa Vargas, 1977)

Sedimentación tipo 2: Se refiere a la sedimentación de suspensiones diluidas de partículas floculentas, en las cuales es necesario considerar las propiedades

floculentas de la suspensión junto con las características de asentamiento de las partículas. Ocurre generalmente en el tratamiento de aguas residuales, dada la naturaleza de los sólidos en ellas presentes, y en la purificación de aguas potables cuando los sedimentadores están precedidos de floculadores y coagulación (Canepa Vargas, 1977).

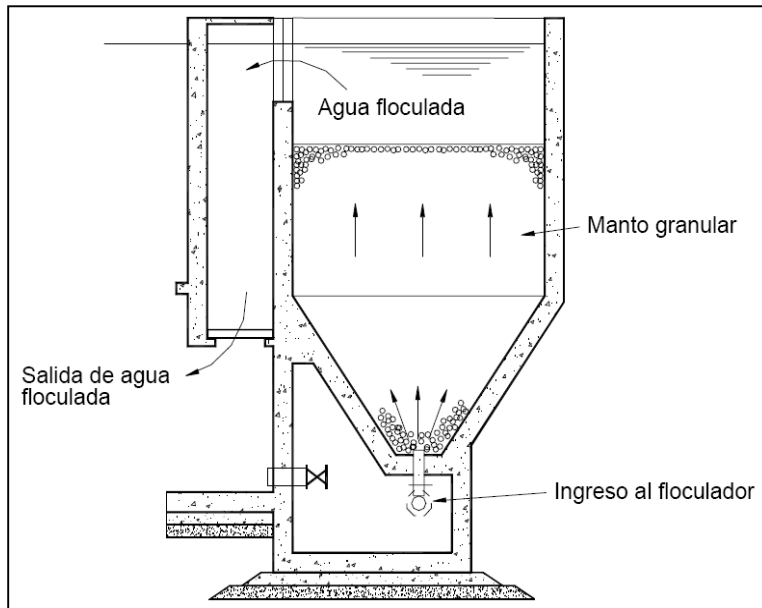
Los sedimentadores se clasifican de acuerdo con el tipo de proceso que utilizan: Para la sedimentación Tipo 1 en desarenadores y sedimentadores simples. Para la sedimentación Tipo 2 en decantadores estáticos, dinámicos o de manto de lodos, decantadores con incremento del peso del floc y decantadores de alta tasa (Canepa Vargas, 1977).

*“Los términos sedimentación de alta tasa o sedimentación acelerada son sinónimos, y hacen referencia a decantadores formados por una serie de tubos circulares, tubos cuadrados, tubos hexagonales o laminas planas u onduladas paralelas debidamente colocadas en el tanque, haciendo un ángulo con la horizontal que garantice deslizamiento de lodos”* (Pérez Parra, 1999).

La sedimentación con placas inclinadas se ha convertido en componente importante del tratamiento de agua en años recientes. Existen dos tipos de decantadores de placas según el sentido del flujo: de flujo ascendente y de flujo horizontal (Pérez Parra, 1999).

La sedimentación de manto de lodos o de contacto con sólidos suspendidos, se emplea generalmente flujo ascensional del agua a través de un manto de lodos. La precipitación de los sólidos ocurre en presencia de una gran cantidad de floc previamente formado, dentro de un solo tanque que combina la mezcla con la floculación y sedimentación, así como la remoción continua del lodo (Pérez Parra, 1999).

**Figura 4-1:** Floculador de medio poroso de flujo ascendente (CEPIS, 2004, p.115).



## 4.1 Calidad del agua

Los valores que alcancen las diferentes características del agua la hacen propia para determinado uso y le imprimen una calidad específica que le permiten una clasificación. Estas características de calidad que deben alcanzar las aguas según el uso, llevan a manejar diferentes tratamientos de adecuación para alcanzar los valores propios (Pérez Parra, 1999).

Para evaluar la calidad del agua suministrada al usuario, se toman muestras del agua cruda a la salida de la planta y en la red distribución. Estas transportan por la vía más rápida al Laboratorio para su análisis (Pérez Parra, 1999).

#### **4.1.1 Calidad del agua cruda**

Existen diversas fuentes de agua potencialmente utilizables como son las aguas superficiales, constituidas por quebradas, ríos lagos naturales y embalses artificiales, las aguas subterráneas, las aguas lluvias y la de los mares, dependiendo de su origen y de las condiciones del medio en que se encuentran. Las características del agua varían notoriamente, siendo las causas de tales diferencias no solamente los fenómenos naturales como arrastre del material insoluble de las orillas y de los afluentes que componen el sistema hidrográfico sino también, y en forma más preocupante cada vez, la contaminación producida por la actividad industrial el uso extensivo de pesticidas y abonos químicos en las zonas de cultivos, la explotación minera, la descarga de basuras y el vertimiento de desechos, líquidos domésticos en las corrientes y una interminable lista de residuos propios de las actividades cotidianas de los asentamientos humanos (Pérez Parra, 1999).

#### **4.1.2 Calidad del agua tratada**

El agua es utilizada es utilizada para múltiples propósitos como son el abastecimiento público que cubre el uso doméstico, industrial y comercial, la generación de energía eléctrica, riego de cultivos, fines recreativos etc. Donde cada situación requiere de unas condiciones de calidad diferentes siendo necesario en algunos casos acondicionar el agua para su adecuada utilización (Pérez Parra, 1999).

Sin ser menos importantes, es claro que es de vital significado tanto para la salud humana como para el bienestar de la sociedad en su conjunto contar con un abastecimiento de agua seguro y satisfactorio para propósitos domésticos tales como el consumo, la preparación de alimentos y la higiene personal. Para cumplir

---

este propósito el agua debe estar exenta de organismos capaces de originar enfermedades, y de cualquier mineral o sustancia orgánica que pueda producir efectos fisiológicos perjudiciales (Pérez Parra, 1999).

## **4.2 Características físicas.**

Se miden en un agua los siguientes parámetros físicos: Turbiedad, Color, Olor, Sabor, Temperatura, los Sólidos que contenga y la Conductividad específica (Pérez Parra, 1999).

En nuestro caso aplican turbiedad y color aparente.

### **4.2.1 Turbiedad.**

Se aplica a las aguas que tienen materia suspendida y coloidal que interfiere con el paso de la luz a través del agua. Es una medida de la reducción de la intensidad de la luz que pasa a través del agua, las unidades son UNT unidades nefelométricas de turbiedad. (Pérez Parra, 1999).

### **4.2.2 Color.**

Es, en importancia, el segundo parámetro físico-químico del agua, y aunque está ligado a la turbiedad puede presentarse como una característica independiente las unidades son UC unidades de color (Pérez Parra, 1999).

- Color verdadero o color real: es debido a sustancias en solución. Se mide después de retirar la turbiedad por centrifugación, o sea después de retirar las sustancias suspendidas (Pérez Parra, 1999).
- Color aparente: incluye la turbiedad, o sea que se mide el color debido a sustancias en solución y en suspensión (Pérez Parra, 1999).

### **4.3 Características químicas.**

Entre los múltiples parámetros químicos que se pueden determinar en las aguas los principales son: pH, dureza, sulfatos, acidez, cloruros, Hierro, alcalinidad, fosfatos, Manganeseo, Amonio, agentes oxidantes, aceites y grasas, Arsénico, Bario, Boro, Cadmio, Cromo, Cobre, Cianuros, fenoles, fluoruros, Mercurio, nitratos, Oxígeno disuelto, pesticidas, Plata, Plomo, Zinc, y otros elementos y sustancias que puedan estar contenidas en las aguas (Pérez Parra, 1999).

En nuestro caso aplican Ph y alcalinidad.

#### **4.3.1 Potencial hidrogeno pH.**

Es una forma de expresar la concentración de iones Hidrógeno  $[H^+]$  o más exactamente de su actividad. Se usa universalmente para expresar la intensidad de las condiciones ácidas o alcalinas de una solución.

$$pH = -\log [H^+] \text{ o } pH = \log 1/ [H^+]$$

La escala va de 0 hasta 14 y 7 representa la neutralidad.

Concentraciones excesivas de  $H^+$  afectan el agua en algunos de sus usos y por esta razón es una medida de polución en potencia.

El pH es el que controla el grado de disociación de muchas sustancias. No debe confundirse con la acidez o la alcalinidad (Pérez Parra, 1999).

#### **4.3.2 Alcalinidad.**

Se define como el poder de una solución para neutralizar los iones  $H^+$  y se debe primordialmente a las sales de los ácidos débiles, tales como carbonatos, bicarbonatos, boratos, silicatos y fosfatos, y unos pocos ácidos orgánicos que son muy resistentes a la oxidación biológica (ácidos húmicos) y llegan a formar sales



que contribuyen a la alcalinidad total.

La alcalinidad debida a hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos es tan alta que hace despreciable la contribución de otros materiales.

Los bicarbonatos representan las mayores formas de alcalinidad porque se forman en cantidades considerables por la acidez del CO<sub>2</sub> sobre los materiales ácidos del suelo:



No se considera que la alcalinidad cause daño al hombre, pero se encuentra asociada al pH, la dureza y los sólidos disueltos que si pueden producir efectos deletéreos (Pérez Parra, 1999).

#### 4.4 Evaluación hidráulica del proceso

El “Jar-test” (prueba de jarras) aún es –probablemente siga siéndolo– el método más utilizado y el más útil para evaluar el proceso de coagulación-floculación y sus efectos en las fases subsiguientes del tratamiento: decantación (o flotación) y filtración (Canepa Vargas, 1977).

Son diversas las informaciones que pueden obtenerse con el uso adecuado del aparato de “jar-test”, entre ellas: determinación de la dosis óptima de coagulante y otros reactivos, concentración (dilución) óptima, intensidad, secuencia de aplicación de los reactivos, tiempo de floculación, etc.

Informaciones como éstas son importantes para el proyecto de una nueva planta de tratamiento o para la operación normal, la optimización o la ampliación de una ya existente (Canepa Vargas, 1977).

La determinación de las dosis de coagulante requeridas, auxiliares de coagulación, etc., es el uso más común de un equipo de jar-test.

A cada jarro se le adicionan diferentes dosis de coagulante, por ejemplo: 5, 10, 15, 25 y 30 mg/l de sulfato de aluminio y las muestras se agitan a la máxima rotación del aparato por un período de 30 segundos a 1 minuto y luego se flocculan por 15 minutos a una rotación de 40 a 50 rpm (Canepa Vargas, 1977).

Se deja decantar por unos 10 minutos y seguidamente se mide la turbiedad del sobrenadante de cada jarra (Bécher) (Canepa Vargas, 1977).

Figura 4-2: Equipo Jar-test (CEPIS, 2004, p.221)

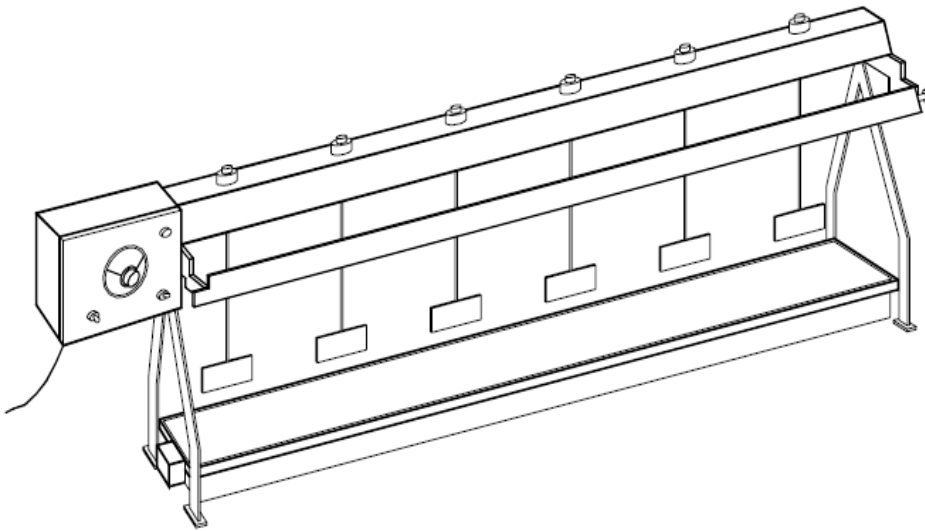
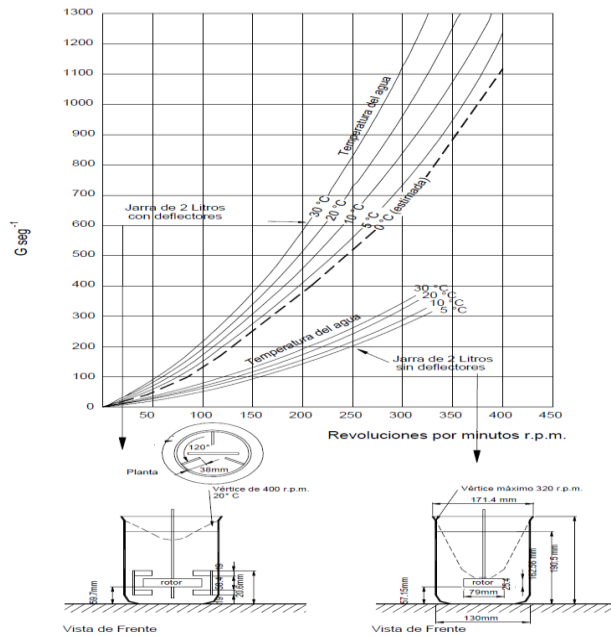


Figura 4-3: Curvas para calibrar el gradiente de velocidad (CEPIS, 2004, p. 228)



## 4.5 Ecuaciones usadas en el modelo.

Los parámetros de diseño se pueden modelar con las ecuaciones a continuación.

$$t = \frac{V}{Q} \quad (4.1)$$

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot d}{\mu} \quad (4.2)$$

$$f = 150 * \left( \frac{1-P}{Re} \right) + 1.75 \quad (4.3)$$

$$H = \frac{f}{\alpha} * \left( \frac{1-P}{P^3} \right) * \frac{L \cdot v^2}{d \cdot g} \quad (4.4)$$

$$G = \sqrt{\frac{\rho \cdot g \cdot H}{\mu \cdot P \cdot t}} \quad (4.5)$$

Donde.

G: gradiente de velocidad, (s<sup>-1</sup>).

H: pérdida de energía, (m).

$\rho$ : densidad del agua, ( $\text{kg/m}^3$ ).

$\mu$ : viscosidad dinámica, ( $\text{Pa}\cdot\text{s}$ ).

P: porosidad se recomendada una porosidad, 0.4.

V: volumen del floculador, ( $\text{m}^3$ ).

Q: caudal, ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).

f: factor de fricción, (adimensional)

L: espesor del lecho de grava, (m).

$\alpha$ : factor de forma, valor recomendado: 0.8.

$Re$ : Número de Reynolds, (adimensional)

d: tamaño promedio de la grava, (m)

v: velocidad de flujo, (m/s)

t: tiempo de floculación, (s)

g: aceleración de la gravedad, ( $\text{m/s}^2$ ).

(Romero Jairo, 2005)

Algunos factores de forma se presentan en la Tabla 4-1

Donde d: diámetro o tamaño de las partículas (m),  $\phi$ : factor de forma.

Tabla 4-1: Factores de forma y porosidad de materiales granulares típicos (CEPIS, 2014)

Descripción	Factor de forma ( $\phi$ )	Porosidad ( $\epsilon$ )
Esféricos	1,00	0,38
Redondeados	0,98	0,38
Desgastados	0,94	0,39
Agudos	0,81	0,40
Angulares	0,78	0,43
Triturados	0,70	0,48

## 4.5 Programa de computador

Visual Basic 6.0, Es una herramienta de programación que crea programas para Windows. Con ella se crean diferentes aplicaciones, casi ilimitadas, en las diversas disciplinas, que nos facilitan llevar a cabo los diseños y procesos en la ingeniería, pasando por un procesador de textos o cualquier otra aplicación que se le ocurra al programador. en nuestro caso diseñar los diferentes componentes de un sistema de tratamiento de agua y simular todas las variables hidráulicas como tiempos de permanencia, velocidades, régimen de flujo, gradientes. Este programa permite crear ventanas, botones, menús y cualquier otro elemento de Windows de una forma fácil e intuitiva (García, 1999).

### 4.5.1 Entorno de visual basic 6.0

Visual Basic 6.0 tiene todos los elementos que caracterizan a los programas de Windows. El entorno de Visual Basic 6.0 es muy lógico, y además en el programa se puede obtener una descripción de la mayoría de los elementos (García, 1999).

- La barra de menús y las barras de herramientas.
- Las herramientas (toolbox).
- Formularios (forms) y módulos.
- La ventana de proyecto (project).
- La ventana de propiedades (Properties).
- Creación de programas ejecutables.
- Cómo utilizar el Help.
- Utilización del Code Editor.
- Utilización del Debugger.

- Ejecución controlada de un programa.
- Ventanas Immediate, Locals y Watches.

(García, 1999).

#### **4.5.2 Lenguaje BASIC**

Los fundamentos del lenguaje de programación Visual Basic 6.0 de Microsoft, Está constituido por variables que contienen los datos con los que se trabaja y por algoritmos que son las sentencias que operan sobre estos datos. Estos datos y algoritmos suelen estar incluidos dentro de funciones o procedimientos (García, 1999).

- Proyectos y módulos
- Ámbito de las variables y los procedimientos
- Variables y funciones de ámbito local
- Variables y funciones de ámbito global
- Variables
- Identificadores
- Variables y constantes
- Nombres de variables
- Tipos de datos
- Elección del tipo de una variable
- Declaración explícita de variables

(García, 1999)

### 4.5.3 Sentencias de control

Las denominadas sentencias de control o estructuras de control, nos permiten tomar decisiones y realizar un proceso interactivo. Este tipo de estructuras son comunes en cuanto a concepto en la mayoría de los lenguajes de programación, aunque su sintaxis puede variar de un lenguaje de programación a otro. Se trata de unas estructuras muy importantes ya que son las encargadas de controlar el flujo de un programa según los requerimientos del mismo. Visual Basic 6.0 dispone de las siguientes estructuras de control:

- If ... Then ... Else
- Select Case
- For ... Next
- Do ... Loop
- While ... Wend
- For Each ... Next

(García, 1999)

## **5. Diseño metodológico**

Los siguientes fueron los criterios metodológicos utilizados para el desarrollo de este estudio.

### **5.1 Enfoque**

En virtud de lo anterior, la presente investigación se orientará a profundizar sobre las siguientes hipótesis:

E<sub>1</sub>: Definir un sistema de tratamiento de agua, con floculador y sedimentador en un solo cuerpo, hidráulico, sin equipos electromecánicos, en el mínimo espacio, mayor eficiencia al mínimo costo.

E<sub>2</sub>: definir geometría del reactor, tamaño adecuado de gravas, variables hidráulicas como velocidades, gradientes, caudales, distribución de caudales, drenajes, sistema de retro lavado del reactor y eliminación de obstrucción de lecho poroso.

E<sub>3</sub>: Es posible simular el proceso y definir rápidamente su ingeniería conceptual y de detalle con la ayuda de un software de apoyo.

### **5.2 Tipo de estudio o Nivel de investigación**

Estudio que se clasifica como diseño pre experimental, basado en la literatura técnica del medio e información de experimentos de reconocidos investigadores de la ingeniería civil y ambiental.

### **5.3 Método de estudio**

Inductivo, deductivo, en el diseño se considera y analiza toda la información disponible de aplicación universal y comprobada validas para aplicarlos en el estudio de un floculador de medio poroso eficiente, que no permite deposito del floc formado en sus cámaras, que tenga control del gradiente y tiempo de permanencia



---

que exige las diferentes calidades de agua, variando el caudal de tratamiento y por el hecho de estar dividido en varias cavidades es posible sacarlas de servicio y disminuir el área de sección transversal de flujo.

El sistema incluye sistema de retro lavado y drenajes adecuados solucionando el problema de taponamiento que algunos sistemas presentan por motivo de estar sobre dimensionados y manejar régimen de flujo bajos, ocurre sedimentación de floc, depósito y obstrucción, al carecer de sistema de lavado y drenaje de lodos eficiente.

El tiempo de retención. Para este diseño. Oscila entre los 300 y los 600 segundos. (5.0 a 10 minutos). Esto representa con respecto a los floculadores convencionales una reducción hasta del 80%, los floculadores convencionales manejan tiempos de retención no menores de 40 minutos.

Estudiar tamaños de grava que se consideren granulometría adecuada que optimiza el funcionamiento del sistema, estudiando y modelando matemática y físicamente el comportamiento Del lecho en lo referente a la pérdida de carga, tiempo de retención, rata de flujo, régimen de flujo y gradiente de velocidad; parámetros que permiten llegar a establecer la eficiencia y funcionalidad de este sistema.

#### **5.4 Población y muestra**

Se revisara parte de la información disponible a nivel de investigaciones por parte de la universidad nacional de Colombia, en cuanto a calidades de agua y sistemas de tratamiento, para definir el diseño.

#### **5.5 Variables**

Las categorías del análisis son el tiempo de residencia y gradientes adecuados en el tratamiento de aguas.

## **5.6 Instrumento de recolección de información**

La información sobre sistemas de potabilización en medios porosos se buscara en la escuela de geociencias y medio ambiente de la facultad de minas de la universidad donde están instalados laboratorios y plantas pilotos construidas para su investigación, allí están documentadas experiencias de diseños y procesos de excelentes resultados.

La discusión de los resultados se realizará relacionando los resultados del trabajo consulta científica de esta investigación en función del planteamiento del problema, los objetivos y las hipótesis con los planteamientos presentados en el marco de referencia, según los resultados de las investigaciones realizadas por los estudiosos y expertos en el tema.

---

## 6.Trabajo Final

El software funciona registrando los resultados estadísticos de la calidad de agua natural, el primer paso en el análisis de regresión del agua natural es recurrir al método de mínimos cuadrados, que es la técnica matemática más adecuada para caracterizar los parámetros del agua.

Se procederá a identificar cuáles expresiones o formulaciones nos darán solución al problema de Software de diseño, materiales, gradientes adecuados, velocidades, números dimensionales, caudales, geometrías reactor, Especificación técnica de gravas, diámetros, entradas, salidas, drenajes. Que nos definen el sistema más eficiente, en el mínimo espacio y mayor economía.

### 6.1 Desarrollo y sistematización de la propuesta

Dando cumplimiento a los objetivos específicos planteados presentamos a continuación el diseño del sistema de floculación sedimentación en un solo cuerpo.

### 6.2 Resultados

Ejemplo de aplicación floculación en medio poroso y sedimentación de contacto.

Tabla 6-1: Condiciones prueba dosis óptima (Pérez, 2002).

Parámetro	Unidad	valor
Turbiedad	NTU	7.0
Color	UC	77
pH	PH	7.9
Alcalinidad	mg/l	54

Condiciones de la prueba	Unidad	Dosis
Coagulante: Sulfato de aluminio	mg/l	18
Velocidad del agitador	rpm	190
Tiempo de mezcla	min.	1
Tiempo de sedimentación	min.	10
Gradiente de velocidad de floculación	s <sup>-1</sup>	208-21

Tabla 6-2: Resultados de los ensayos (Pérez, 2002).

velocidad (rpm)	Gradiente velocidad (S <sup>-1</sup> )	Tiempo de floculación (min)											
		1		2		3		4		5		6	
		T <sub>f</sub>	T <sub>f</sub> /T <sub>o</sub>	T <sub>f</sub>	T <sub>f</sub> /T <sub>o</sub>	T <sub>f</sub>	T <sub>f</sub> /T <sub>o</sub>	T <sub>f</sub>	T <sub>f</sub> /T <sub>o</sub>	T <sub>f</sub>	T <sub>f</sub> /T <sub>o</sub>	T <sub>f</sub>	T <sub>f</sub> /T <sub>o</sub>
70	80	2,1	0,30	2,2	0,31	1,4	0,20	1,6	0,23	1,4	0,20	1,4	0,20
60	60	1,8	0,26	1,9	0,27	1,3	0,19	1,5	0,21	1,3	0,19	1,3	0,19
50	50	1,2	0,17	1,5	0,21	1,3	0,19	1,3	0,19	1,3	0,19	1,1	0,16
40	40	0,9	0,13	1,2	0,17	1,1	0,16	1,2	0,17	1,1	0,16	1,1	0,16
30	30	1,4	0,20	0,8	0,11	1,05	0,15	1,1	0,16	1,1	0,16	0,9	0,13
20	20	1,6	0,23	1,1	0,16	0,8	0,11	0,7	0,10	0,6	0,09	0,55	0,08

En este ensayo se determina el tiempo total de floculación, los gradientes de velocidad en cada zona de floculación. Los valores de (T<sub>f</sub>/T<sub>o</sub>) se encuentran en porcentaje de eliminación.

Tabla 6-3: Tabla de valores críticos de parámetros de floculación. (Pérez, 2002).

Punto	1	2	3	4	5	6
<b>T(s)</b>	2	4	6	8	10	12
<b>G(s<sup>-1</sup>)</b>	40	30	20	20	20	20

Con el fin de ajustar los puntos anteriores, se hace una regresión lineal, aplicando la teoría de los mínimos cuadrados a la ecuación de una recta  $Y = a + b \cdot X$  en la cual  $\text{Log}(t) = x$ , y  $\text{Log}(G) = y$ , de lo cual se determinan los valores de  $a$  y  $b$ , de la siguiente gráfica, y haciendo una regresión se determina la curva correspondiente al ensayo de jarras. (Ver ecuación (6.1)).

$$G = \left(\frac{10^{2,7}}{t}\right)^{1/1,52} \quad (6.1)$$

Donde

G: gradiente de velocidad( $S^{-1}$ )

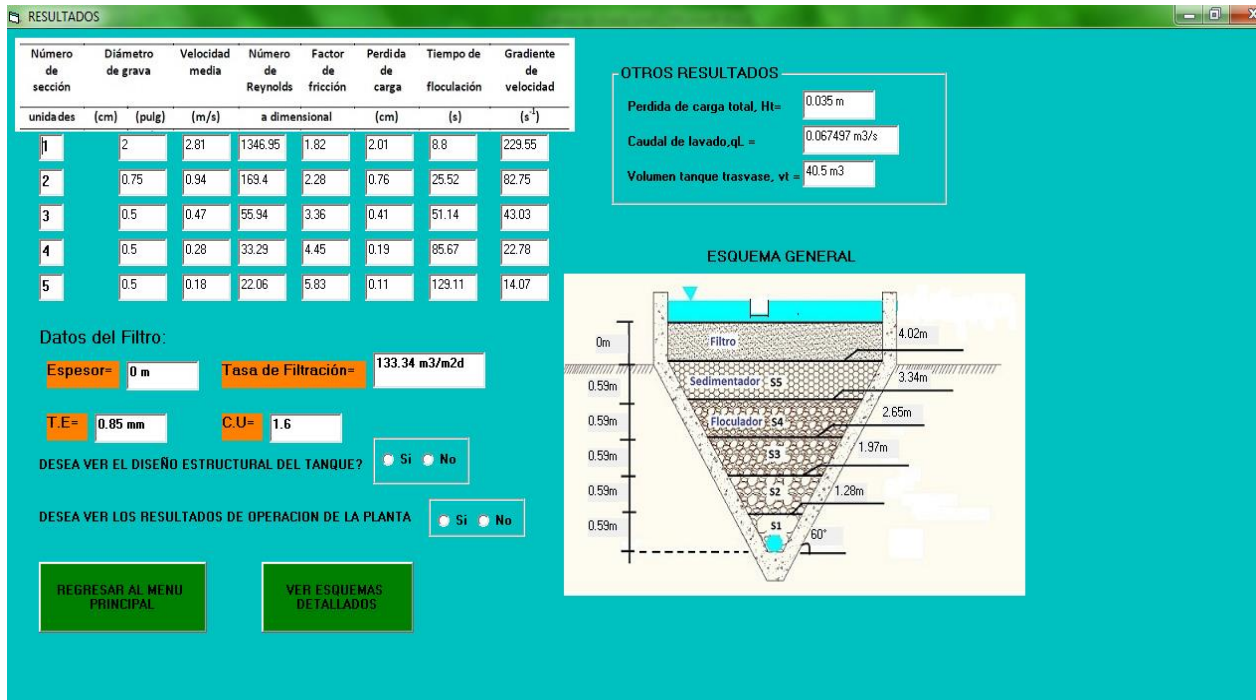
t: tiempo de floculación (min).

Con base en la ecuación (6.1) reemplazando los tiempos que se calculen en el floculador se obtiene los nuevos gradientes, los cuales deben ser similares (gradientes del ensayo de jarras y los del floculador de piedras).

Tabla 6-4: G\*T definitivo (Pérez, 2002).

Punto	1	2	3	4	5
<b>T(s)</b>	9	34	85	171	300
<b>G(s<sup>-1</sup>)</b>	208	87	47	30	21

Tabla 6-5: Modelo de Cálculo definitivo para el diseño del floculador-sedimentador por medio de programa Capla.



En la tabla 6-6 se observan los resultados obtenidos por medio del programa CAPLA y se evidencia que en las 5 secciones del floculador en medio poroso gradientes mayores a  $14 \text{ s}^{-1}$ , que me impiden el deposito o sedimentación, evitando la obstrucción del sistema.

Se observa que al fluir el agua hasta el final del medio poroso se presenta un gradiente menor de  $14 \text{ s}^{-1}$ , velocidad  $0,18 \text{ m/s}$  y numero de Reynolds 22, que me garantiza un régimen de flujo que garantiza depósito y posterior retiro de lodos por medio del anillo central.

Figura 6-1: Planta y corte transversal sistema compacto.

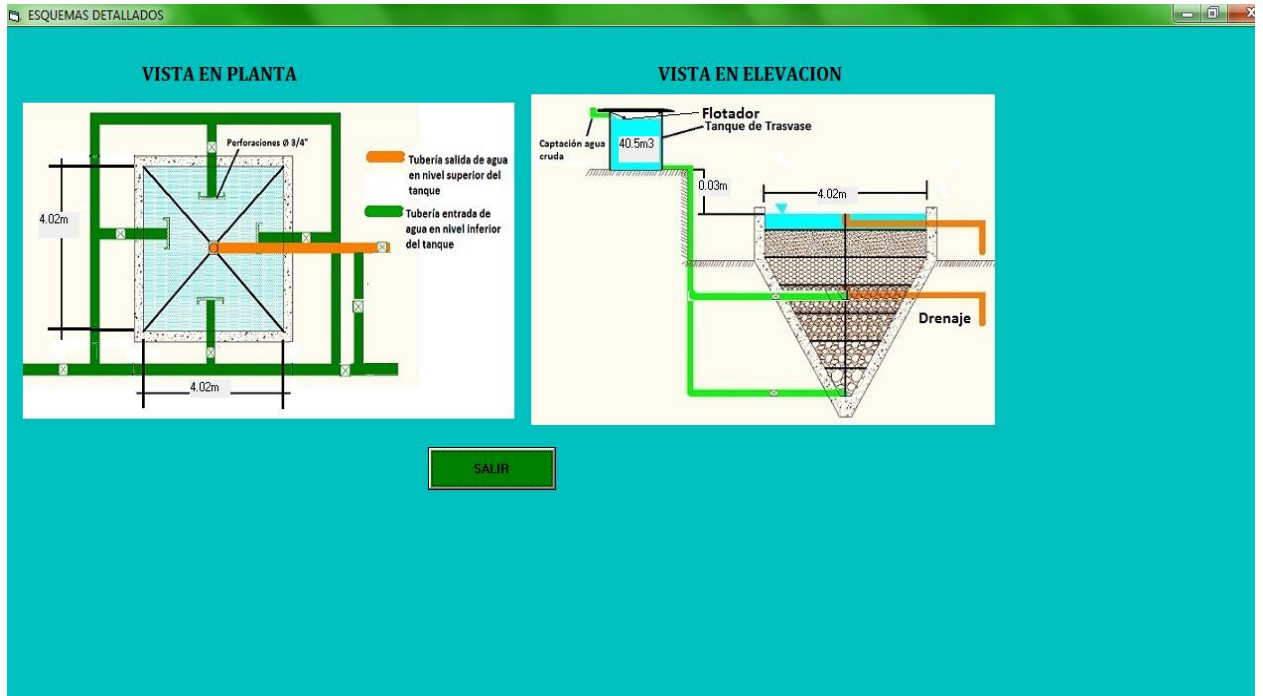


Tabla 6-6: G\*T programa CAPLA

Punto	1	2	3	4	5
T Acumulado(s)	9	34	85	171	300
G(s <sup>-1</sup> )	229	83	43	23	14

## 7. Conclusiones y recomendaciones

### 7.1 Conclusiones

- Se validó la tecnología de medios porosos aplicando el modelo físico – matemático y se evidenció la eficiencia del proceso que en una sola unidad de equipo mínimo de fácil construcción, mantenimiento, manejo operativo, versátil y de bajo costo, menos del 30%, comparada con las convencionales.
- Disminución del 80% del área requerida en la floculación y sedimentación convencional.
- Se retiran con facilidad el 100% de los lodos y se da solución al problema de remoción de lodos en los sedimentadores de alta tasa que requieren del vaciado total de la estructura y retiro de lodos manualmente.
- Se comprueba que el sistema de medios porosos utiliza la energía hidráulica, No requieren equipos electromecánicos por consiguiente Ahorro de energía eléctrica y Disminución de la vulnerabilidad del reactor por falla de sus componentes o por suspensión del fluido eléctrico.
- Este sistema es un referente a nivel nacional de un floculador de medio poroso eficiente, que no permite depósito del floc formado en sus cámaras, por tener control del gradiente y tiempo de permanencia que exige las diferentes calidades de agua, variando el caudal de tratamiento y por el hecho de estar dividido en varias cavidades es posible sacarlas de servicio y disminuir el área de sección transversal de flujo.
- Este sistema incluye sistema de retro lavado y drenajes adecuados solucionando el problema de taponamiento que algunos sistemas presentan por motivo de estar sobre dimensionados y manejar régimen de flujo bajos, ocurre sedimentación de floc y obstrucción, al carecer de sistema de lavado y drenaje de lodos eficiente se presentan inconvenientes ,como es el caso



---

de plantas con floculador de medio poroso en forma de tronco pirámide invertida y flujo ascendente como la localizada en el municipio El retiro, Antioquia y la ptap Aguas Frías, perteneciente al sistema interconectado EPM.

- El tiempo de retención. para este experimento. oscila entre los 300 y los 600 segundos. (5.0 a 10 minutos). Esto representa con respecto a los floculadores convencionales una reducción hasta del 87.5% (Mark Hammer recomienda para floculadores convencionales tiempos de retención no menores de 40 minutos).

## **7.2 Recomendaciones**

- Se recomienda que las variables hidráulicas como, cabeza de presión, tasa de flujo, régimen de flujo, velocidades, gradientes óptimos, del floculador sedimentador en un solo cuerpo, deben ser definidos por medio del ensayo de jarras o planta piloto, para cada tipo de agua. procedimiento que es factor determinante en el tratamiento de agua y la propuesta óptima. Un diseño apropiado permite el continuo arrastre de los floc hacia la zona de sedimentador evitándose así la colmatación del lecho poroso y evitando la necesidad de lavado, favoreciendo el contacto, concentración de partículas y formación del manto de lodos en la zona de depósito del sedimentador.

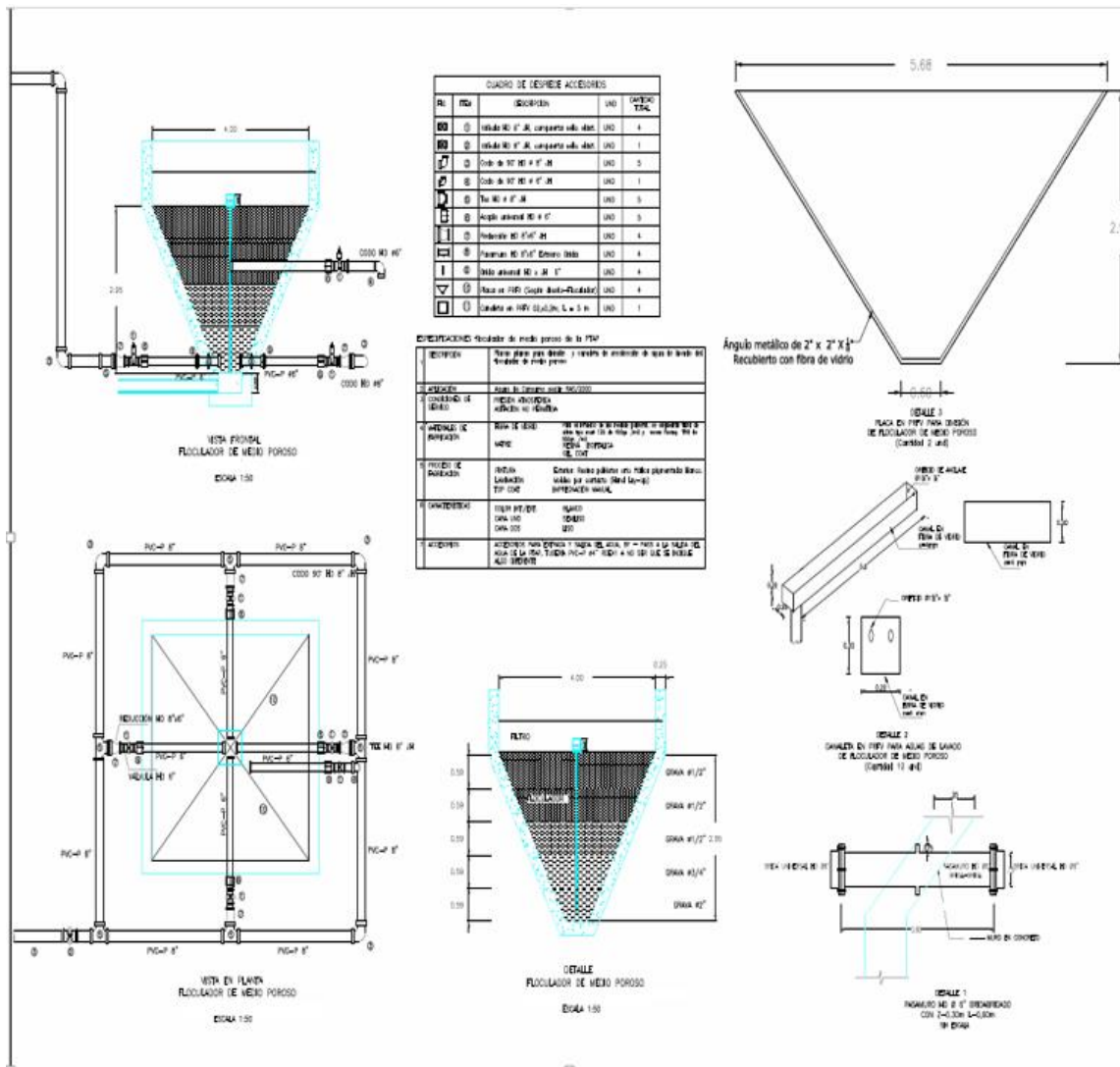
## Referencias

- Velásquez Córdoba, Mario A. y Velez González, Honorio. (1982). Diseño y construcción de una planta piloto para tratamiento de agua potable-parte 2. Tesis Ingeniería Civil. (137p).Medellín: ed.: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas.
- Tamayo Bedoya, Gustavo y Valencia Quintero, Rodrigo. (2000). Diseño y construcción de una planta piloto para tratamiento de agua potable. Tesis ingeniería Civil. Medellín: ed.: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas.
- Pérez Parra, Jorge Arturo y Arroyave Salazar, Juan Fernando. (1999). Evaluación operacional de una planta compacta a escala piloto en el tratamiento de aguas superficiales: quebrada la Gómez. tesis ingeniería civil. Medellín: ed.: Universidad Nacional de Colombia - sede Medellín.
- Pérez Parra Jorge Arturo, Álvarez Rebage Fabián. (1996). filtros pilotos para experimentación con diferentes medios filtrantes. Tesis de ingeniería Civil. Medellín: ed.: Universidad Nacional de Colombia - sede Medellín.
- Piedrahita Gómez, Edgar Augusto. (2009). Mejoramiento floculación medio poroso planta de tratamiento agua potable Aguas Frías, tesis de grado ingeniería civil. Medellín: ed.: Universidad Nacional de Colombia Facultad de Minas.
- Pérez Parra, J. (1997).Ensayo modificado de jarras para la selección de parámetros de diseño de floculación y sedimentación en Colombia. Avances en recursos hidráulicos *issn: 0121-5701* ed.: Universidad Nacional de Colombia, (4), (p.33 - 48).

- 
- Pérez Parra, Jorge Arturo y Ceballos Bonilla, Lina Isabel. (2001). Evaluación de modelos de predicción de expansión de lechos filtrantes. Tesis concluida ingeniería civil. Medellín: ed.: Universidad Nacional de Colombia - sede Medellín.
  - Munera Bedoya, Juan Gonzalo y Quiceno Restrepo, Carlos Arturo. (1978). Retro lavado de filtros granulares. Tesis ingeniería civil. (p. 99) Medellín. ed.: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas.
  - Pérez Parra, Jorge Arturo y Escobar, Oscar. (1993). Floculación en lechos porosos. Avances en recursos hidráulicos issn 0121-5701 ed.: Universidad Nacional de Colombia, (1), (p. 43-58).
  - Pérez Parra, Jorge Arturo. (1977). Expansión de lecho contra caudal de lavado en un filtro. Tesis magister ingeniería civil, (p51). Medellín: ed.: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas.
  - Jiménez, M., José, F., Marín I, Gustavo A. y Vallejo I., David. (1986). Sugerencias para el diseño de floculador de piedras. Curso de tratamiento de aguas, (p4). Medellín: ed.: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas.
  - Pérez, M y Escobar, B. (1992). Floculación en lechos porosos. Tesis ingeniería civil, (p90). Medellín: ed.: Universidad Nacional de Colombia. Facultad Nacional de Minas.
  - Richter, Balkowski. (1977). Granular médium flocculators.
  - González Q. Velmar y Ortiz R., Waldo. (1984) Floculación en lecho poroso. Tesis ingeniería civil, (p90). Bogotá: ed.: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de ingeniería.
  - Marbello Pérez, Ramiro Vicente. (2000). Fundamentos de hidráulica. Medellín: ed.: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas.

- Saldarriaga, Juan. (2007). Hidráulica de tuberías. Bogotá: ed.: Universidad de los Andes.
- Pérez Parra, Jorge Arturo. (2000). Manual de potabilización del agua. Medellín: ed.: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas.
- Romero Rojas, Jairo. (2005). Purificación del agua. Bogotá: ed.: escuela colombiana de ingeniería.
- Canepa de Vargas, Lidia. (1977). Estudio de la PFR de Barranca, documento inédito. Lima: ed.: CEPIS.

# A. Anexo: Planta y corte transversal del sistema compacto.



Código visual BASIC

Edgar Augusto Piedrahita Gómez

Edgar-piedrahita@hotmail.com

Teléfono: +57-4 5893631

Móvil: 301 3297150

Fax: +57-4 5893631