



# **ESTUDIO DE TRATABILIDAD DE LA FUENTE DE ABASTECIMIENTO PIEDRAS AMARILLAS, LAS VEGAS, SANTA BARBARA**

**Elaborado por:**  
Ing. Lizeira Polanco

**Pruebas de tratabilidad realizadas por:**  
Dirección Nacional de Calidad del Agua de la División Técnica

**Noviembre, 2011**

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO .....	3
1.- ANTECEDENTES .....	5
2.- ESTUDIO DE TRATABILIDAD DE LA FUENTE PIEDRAS AMARILLAS .....	5
2.1. Variaciones de Turbiedad.....	5
2.2. Contaminación bacteriológica .....	6
2.3. Calidad de la Fuente .....	6
3.- PARAMETROS DE DISEÑO .....	7
3.1 EQUIPO UTILIZADO .....	8
3.2.-RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE PRESEDIMENTACION .....	9
3.3.-RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE DOSIFICACIÓN.....	9
3.3.1.- Dosis óptima de Coagulante .....	9
3.3.2.-Concentración Óptima de Coagulante.....	10
3.3.3.- Potencial Hidrógeno (pH) Óptimo de Coagulación .....	11
3.4.-RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE FLOCULACIÓN.....	12
3.5.-RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE DECANTACION.....	15
3.6.-RESULTADOS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS CON PARAMETROS PLANTA AGUACLARA .....	17
4.- CONCLUSIONES.....	18
5.- RECOMENDACIONES.....	20
6.- ANEXOS .....	21
6.1. CALCULOS DE DIMENCIONAMIENTO DEL FLOCULADOR VERTICAL.....	21
6.2. CALCULOS DE DIMENCIONAMIENTO DEL DECANTADOR LAMINAR.....	22

### RESUMEN EJECUTIVO

El presente estudio tiene como finalidad presentar los resultados de las pruebas de tratabilidad realizadas en muestras de agua recolectadas en el sitio de presa de la fuente de Abastecimiento Piedras Amarillas de la Ciudad de Las Vegas, Santa Bárbara; y proponer la alternativa de potabilización de tecnología apropiada y sostenible.

Se cuenta con algunos muestreos de calidad del agua desde el año 2006 en los cuales evidencia la problemática de turbiedad y color que tiene la fuente en época lluviosa, sin embargo el principal problema de esta fuente de abastecimiento es el calcio que se deposita en las tuberías como Oxido de Calcio<sup>1</sup>.

Este estudio se realizó con tres muestras puntuales, con las siguientes características:

**CUADRO No.1. Características de las muestras analizadas**

Parámetros	Muestra No. 1	Muestra No.2	Muestra No.3
Fecha	11-sep-2007	6-sep-2011	5-dic-2011
Turbiedad (NTU)	10.0	76.4	6.81
Color (UC)	15.00	125	17.5
pH	8.1	8.1	8.1

De acuerdo al caudal a potabilizar (22.0 l/s) y al presupuesto con que se cuente, puede optarse por una planta de filtración rápida completa tecnología CEPIS con los siguientes procesos unitarios coagulación, floculación, decantación, filtración y desinfección; o solo por un sistema que optimice la desinfección y elimine el calcio antes de que se precipite en la red de distribución, es decir una planta de clarificación parcial que contemple solamente los procesos de Coagulación, floculación y decantación, como ser la Tecnología AguaClara.

El proceso de floculación se optimiza con un tiempo de 21 minutos y gradientes de velocidad variables entre 55 y 20 s<sup>-1</sup> y se obtiene un efluente de 2 NTU de turbiedad con una tasa de decantación de 30 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d

Después de realizadas las pruebas de tratabilidad con los parámetros de diseño de las plantas AguaClara, se concluye que en la fuente Piedras Amarillas se puede construir una planta de este tipo.

**Cuadro No.2. Parámetros óptimos de Planta de Tecnología AguaClara**

Instalaciones de Tratamiento	Parámetros Óptimos	
Instalaciones de Dosificación	Rango de dosis de coagulante	0-60 mg/l
	Concentración	10%
	pH óptimo de coagulación	natural
Unidades de Tratamiento	Tiempo de Retención	Gradiente de Velocidad (s <sup>-1</sup> )
Mezclador	instantánea	700-1200
Floculador	20min	40
Decantadores	10 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d	

<sup>1</sup> Según análisis realizados a varios segmentos de la tubería de la red de distribución el 19 de junio de 2008 en el laboratorio de la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA)

En resumen el sistema de potabilización propuesto para las aguas de la fuente de Piedras amarillas debe estar compuesto por lo menos de:

- Floculador hidráulico de pantallas de flujo vertical
- Decantadores laminares de pantallas paralelas
- Sistema de dosificación de sulfato de aluminio u otro coagulante
- Sistema de dosificación de hipoclorito de calcio
- Bodega
- Laboratorio de control
- Sala, vestuario y servicios para el personal
- Cerco perimetral

A continuación se presenta en detalle los resultados del estudio de tratabilidad de la fuente Piedras amarillas.

# ESTUDIO DE TRATABILIDAD DE LA FUENTE DE ABASTECIMIENTO PIEDRAS AMARILLAS, LAS VEGAS, SANTA BARBARA

## 1.- ANTECEDENTES

Presentar los resultados del estudio de tratabilidad de la fuente de abastecimiento Piedras Amarillas, Las Vegas, Santa Bárbara.

Se simularon los procesos de coagulación-floculación y decantación de las tres muestras tomadas en la fuente Piedras Amarillas, en el punto de captación, con la finalidad de determinar los parámetros de estos procesos, con los cuales se obtendría la máxima eficiencia, con el objetivo principal de precipitar en planta el Oxido de Calcio<sup>2</sup> que forma la incrustación en las tuberías y en segundo lugar eliminar la turbiedad.

Este estudio se realizó con tres muestras puntuales, con las siguientes características:

**CUADRO No.3. Características de las muestras analizadas**

Parámetros	Muestra No. 1	Muestra No.2	Muestra No.3
Fecha	11-sep-2007	6-sep-2011	5-dic-2011
Turbiedad (NTU)	10.0	76.4	6.81
Color (UC)	15.00	125	17.5
pH	8.1	8.1	8.1

## 2.- ESTUDIO DE TRATABILIDAD DE LA FUENTE PIEDRAS AMARILLAS

### 2.1. Variaciones de Turbiedad

En base a los análisis realizados por el SANAA desde el año 2006, la fuente no presenta turbiedades altas, la máxima turbiedad registrada fue de 76.4 NTU en septiembre de 2011.

El problema real de esta fuente es la incrustación que se presenta en toda la tubería de la red de distribución.

<sup>2</sup> Según análisis realizados a varios segmentos de la tubería de la red de distribución el 19 de junio de 2008 en el laboratorio de la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA)

## 2.2. Contaminación bacteriológica

Según los análisis de Coliformes Termotolerantes realizados por el SANAA, se observa que esta fuente presenta contaminación fecal.

**CUADRO No.4. Contaminación Bacteriológica de la Fuente**

Fecha	Coliformes Termotolerantes UFC/100mL
09-May-06	180
21-Sep-06	70
24-May-07	290
13-May-08	920
15-May-08	2419

## 2.3. Calidad de la Fuente

En el cuadro No.5 y cuadro No.6 se presentan los resultados de análisis de calidad del agua efectuados a la fuente.

**CUADRO No.5. Resultados de Análisis de Calidad del Agua**

Fecha	Turbiedad NTU	Color UC	pH	Coliformes Termotolerantes UFC/100mL
<b>Valor Máximo permitido por NTN para la Calidad del Agua Potable</b>	<b>5</b>	<b>15</b>	<b>6.5-8.5</b>	<b>0</b>
09-May-06	0.35	2.5	6.99	180
21-Sep-06	0	0	8.5	70
24-May-07				290
16-Ago-07	0.94	2.5	8.18	-
	10	15	8.1	
13-May-08	-	-	7.1	920
15-May-08	0.76	<1	8.06	2419
12-May-11	0.68	2.5	7.64	-
6-sep-2011	76.4	125	8.1	-
5-dic-2011	6.81	17.5	8.1	-

**CUADRO No.6. Resultados de Análisis de Sustancias Inorgánicas con Significado para la Salud**

Sustancias Inorgánicas con Significado para la Salud	Unidad	Norma Técnica Nacional para la Calidad del Agua Potable	Fecha				
			24-May-07	16-Ago-07	13-May-08	13-May-08	18-May-11
Aluminio	mg/l	0.2	0.05942	0.29398		-	0.0249
Arsénico	mg/l	0.01	0.01585	ND	0.00124	-	-
Cadmio	mg/l	0.003	0.007507	ND	<0.002	<0.002	ND
Cromo	mg/l	0.05	0.00291	ND	<0.006	<0.009	ND
Cobre	mg/l	2	0.00066	ND	0.01	<0.005	ND
Manganeso	mg/l	0.5	ND	ND	0.03	<0.01	ND
Hierro total	mg/l	0.3	0.05463	-	0.38	<0.01	0.02
Níquel	mg/l	0.02	ND	ND	<0.005	<0.02	
Plomo	mg/l	0.01	0.01871	ND	<0.001	<0.009	0.0083
Selenio	mg/l	0.01	0.2248	-	<0.0002	-	
Zinc	mg/l	3	0.02568	ND	0.05	<0.002	0.0009

### 3.- PARAMETROS DE DISEÑO

La determinación de los parámetros de los procesos mediante simulación en el laboratorio es necesaria para determinar las dimensiones de las unidades de la planta, se ha demostrado que para cada tipo de agua existen parámetros de diseño específicos que optimizan los procesos y producen la máxima eficiencia remocional; en el proceso de coagulación la dosis optima varía en función del pH y de la concentración de coloides presentes en el agua cruda; en la floculación existe un tiempo de retención mínimo, que corresponde a un determinado valor de gradiente de velocidad .

#### COAGULACION

La coagulación se lleva a cabo generalmente con la adición de sales de aluminio y consiste en la remoción de impurezas. Este proceso es resultado de dos fenómenos:

- El primero, esencialmente químico, consiste en las reacciones del coagulante con el agua y la formación de especies hidrolizadas con carga positiva. Este proceso depende de la concentración del coagulante y el pH final de la mezcla.
- El segundo, fundamentalmente físico, consiste en el transporte de especies hidrolizadas para que hagan contacto con las impurezas del agua.

#### FLOCULACION

El objetivo principal de la floculación es reunir las partículas desestabilizadas para formar aglomeraciones de mayor peso y tamaño que sedimenten con mayor eficiencia.

Al dispersarse el coagulante en la masa de agua y desestabilizarse las partículas se necesitará una agitación relativamente lenta para que las partículas choquen entre sí, se aglomeren y formen otras de mayor tamaño denominadas floculos; ya que estas pueden ser removidas con mayor eficiencia por los procesos de sedimentación y filtración.

## SEDIMENTACION

Se entiende por sedimentación la remoción por efecto gravitacional de las partículas en suspensión presentes en el agua. La remoción de partículas en suspensión puede conseguirse por sedimentación o filtración. De allí que ambos procesos se consideren como complementarios.

La sedimentación remueve las partículas más densas, mientras que la filtración remueve aquellas partículas que tienen una densidad muy cercana a la del agua y no pudieron ser removidas en el proceso anterior.

### 3.1 EQUIPO UTILIZADO

#### 3.1.1 Equipo de Prueba de Jarras

Con la prueba de jarras se trata de reproducir las condiciones en las cuales se desarrollan los procesos de floculación y sedimentación en la planta potabilizadora.

Este equipo consta de los siguientes elementos:

- Un agitador mecánico provisto con seis paletas, capaz de operar a velocidades variables (de 0 a 300 revoluciones por minuto).
- Un iluminador de floculos localizado en base del agitador del equipo.
- Vasos de precipitado de 2 litros de capacidad, redondos y de vidrio.

La variable que más importancia tiene en la prueba de jarras es la intensidad de agitación expresada como gradiente de movimiento del agua. Se utilizan paletas accionados en forma mecánica.

#### 3.1.2. Turbidímetro

La medición de la turbiedad del agua se considera como el parámetro más importante para caracterizar los procesos. La medición de la turbiedad se logra mediante el uso de un Turbidímetro convencional que mide la intensidad de la luz que pasa a través de una muestra de agua o la intensidad de la luz que es dispersada por las partículas en suspensión que están presentes en la muestra, generalmente desde una dirección situada a 90° de la dirección original del haz de luz.

#### 3.1.3. Medidor de pH

La efectividad de la coagulación depende directamente del pH. Debido a ello, la medición de este parámetro antes y después de la floculación tiene importancia básica, por lo cual debe disponerse de un medidor de pH.



### 3.2.-RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE PRESEDIMENTACION

Al someter la muestra No.2 a condiciones de reposo durante dos horas, se obtuvieron reducciones de turbiedad del 19%(inicial 76.4NTU, final 61.6 NTU), y en color del 0% (125 inicial, 125 final); estos resultados indican que la mayor parte de las partículas son coloidales y no es necesaria la construcción de un presedimentador.

### 3.3.-RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE DOSIFICACIÓN

Los ensayos realizados para determinar las condiciones optimas de dosificación fueron: Dosis óptima de coagulante, concentración óptima de coagulante, pH óptimo de coagulación;

Las pruebas de dosificación se realizaron bajo las siguientes condiciones:

**CUADRO No.7. Condiciones de los ensayo**

No.	Parámetro	Condición
1	Tiempo de Mezcla Rápida	Instantánea
2	Tiempo de Floculación	20 minutos
3	Gradiente de Velocidad	40s <sup>-1</sup>
4	Velocidad de Agitación	65rpm
5	Tiempo de Sedimentación	10 minutos

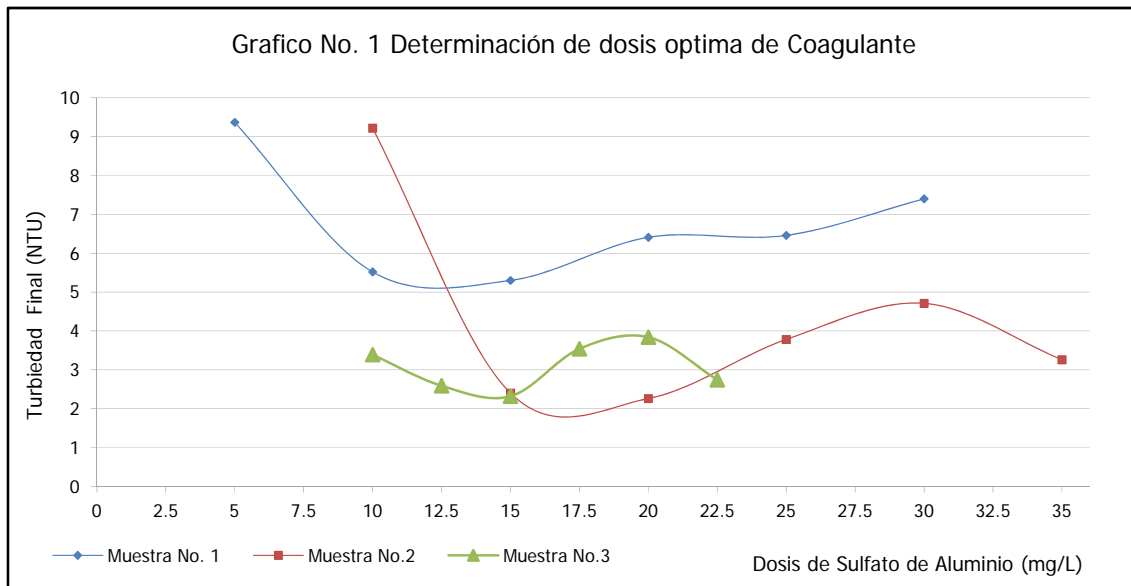
#### 3.3.1.- Dosis óptima de Coagulante

El objetivo de este ensayo es determinar la dosis de coagulante que produce la más rápida desestabilización de las partículas coloidales, que permita la formación de un floculo grande, compacto y pesado, que pueda ser fácilmente retenido en los decantadores y que no se rompa y traspase el filtro.

Se efectuaron con una solución de sulfato de aluminio a una concentración del 1% (10g/l), Obteniéndose una dosis optima de 15 mg/l para las muestras No.1 y 3, en la muestra No.2 fue de 20 mg/l como se presenta en el cuadro No.8 y Grafico No. 1

**CUADRO No.8. Determinación de Dosis Óptima de coagulante**

Dosis de Sulfato de Aluminio al 1% mg/l	Turbiedad Final NTU		
	Muestra No.1	Muestra No.2	Muestra No.3
5.0	9.37	-	-
10.0	5.52	9.22	3.39
12.5	-	-	2.59
15.0	5.30	2.40	2.32
17.5	-	-	3.54
20.0	6.41	2.26	3.84
22.5	-	-	2.74
25.0	6.46	3.78	-
30.0	7.40	4.71	-
35.0	-	3.26	-



### 3.3.2.-Concentración Óptima de Coagulante

Diversos estudios han demostrado que la concentración del coagulante influye en la eficiencia de la mezcla rápida, lo que modifica los resultados del proceso de coagulación. Es necesario trasladar esta experiencia a las plantas potabilizadoras, previa selección del valor óptimo a nivel de laboratorio.

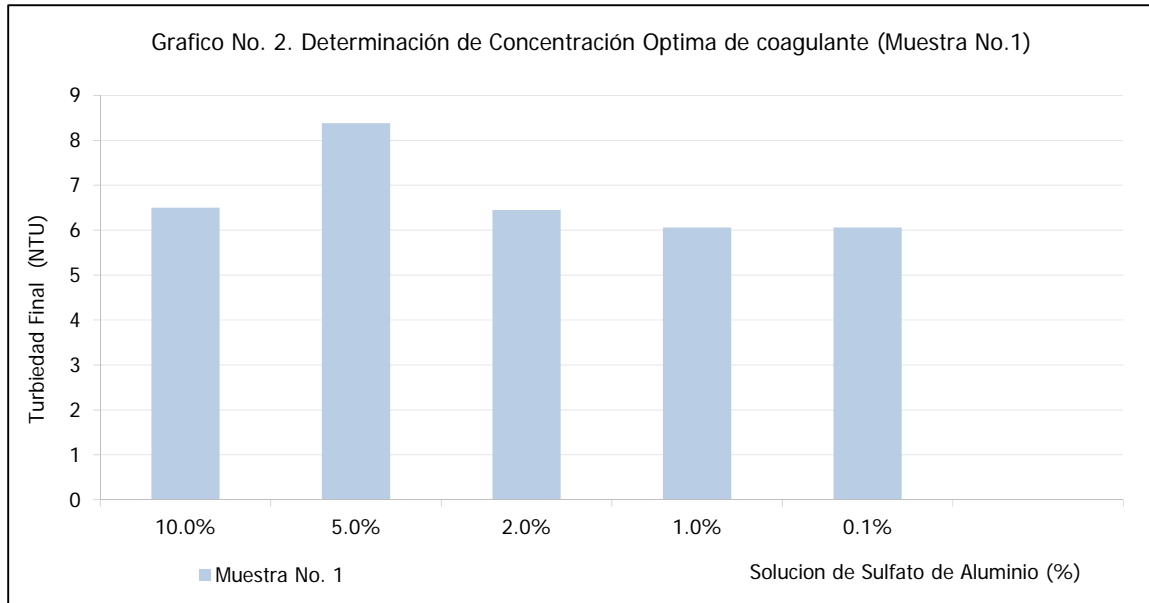
Como se puede observar en los datos en el Cuadro No.6 y el gráfico No.2, la muestra analizada no presentó cambios bruscos de turbiedad con las diferentes concentraciones utilizadas, y los mejores resultados se obtienen con soluciones al 2%.

En general esta planta puede ser diseñada para trabajar con soluciones de concentraciones entre 1% y 10%.

Se realizó esta prueba solamente con la muestra No. 1, se evidencia que solamente con la concentración del 5% los resultados no son satisfactorios. Con las concentraciones 0.1 al 2% y 10% se obtienen resultados muy parecidos.

**CUADRO No.9. Determinación de Concentración Óptima de coagulante**

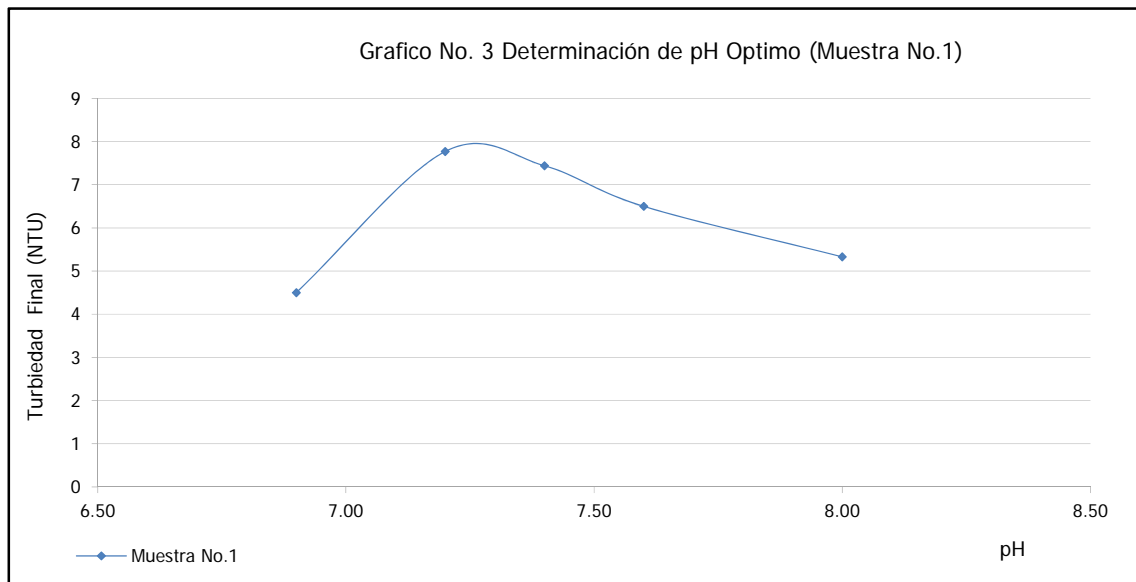
Concentración de Sulfato de Aluminio %	Turbiedad Final NTU
	Muestra No.1
10	6.5
5	8.38
2	6.45
1	6.06
0.1	6.06



### 3.3.3.- Potencial Hidrógeno (pH) Óptimo de Coagulación

El objetivo es determinar el rango de pH óptimo de la muestra estudiada, en relación con el coagulante utilizado.

Esta prueba se realizó con la muestra No. 1 obteniendo como pH óptimo de coagulación el natural, tal como se puede observar en el grafico No. 3



### 3.4.-RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE FLOCULACIÓN

El propósito de este ensayo es la determinación de los parámetros de floculación: gradiente de velocidad (G) y tiempo de retención (T), en función de las dosis óptimas determinadas.

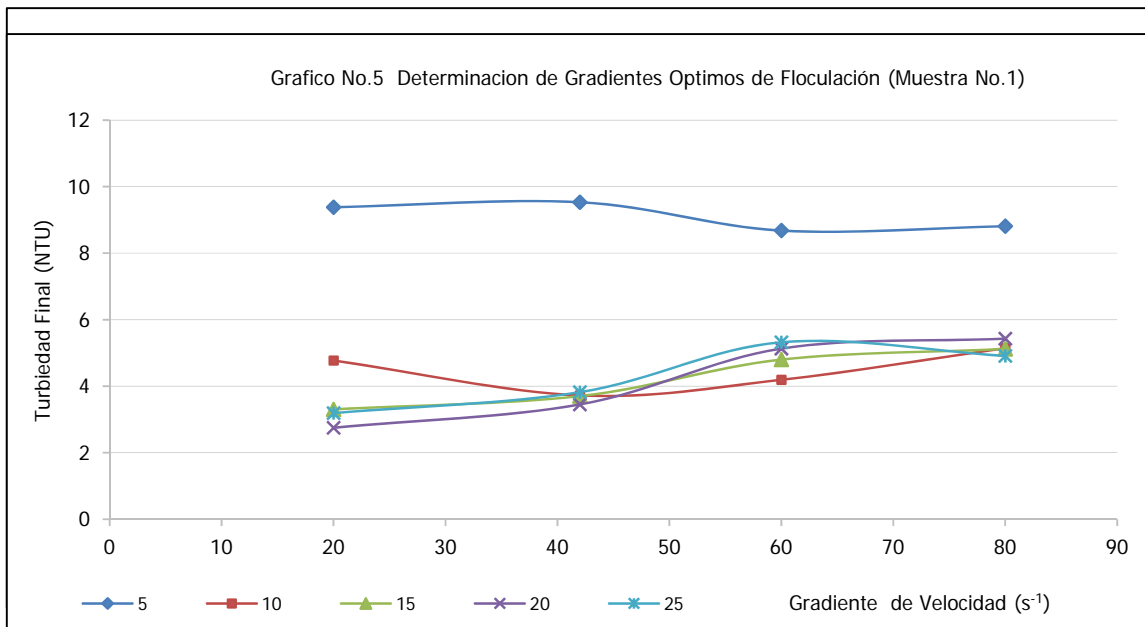
#### 3.4.1.- Determinación de Gradientes de Velocidad y tiempo de floculación

Se efectuaron 4 pruebas de Jarras con cada muestra, variando los gradientes de velocidad entre  $80s^{-1}$  y  $20s^{-1}$  y los tiempos de floculación entre 5 y 30 minutos. Los gráficos del 4 al 8 muestran los resultados obtenidos.

En estos se puede observar que, para la muestra No.1 el proceso se optimiza con un gradiente de velocidad de  $20s^{-1}$  y un tiempo de floculación de 20 minutos y para la muestra No.2 con un gradiente de velocidad de  $30 s^{-1}$  y un tiempo de floculación de 20 minutos.

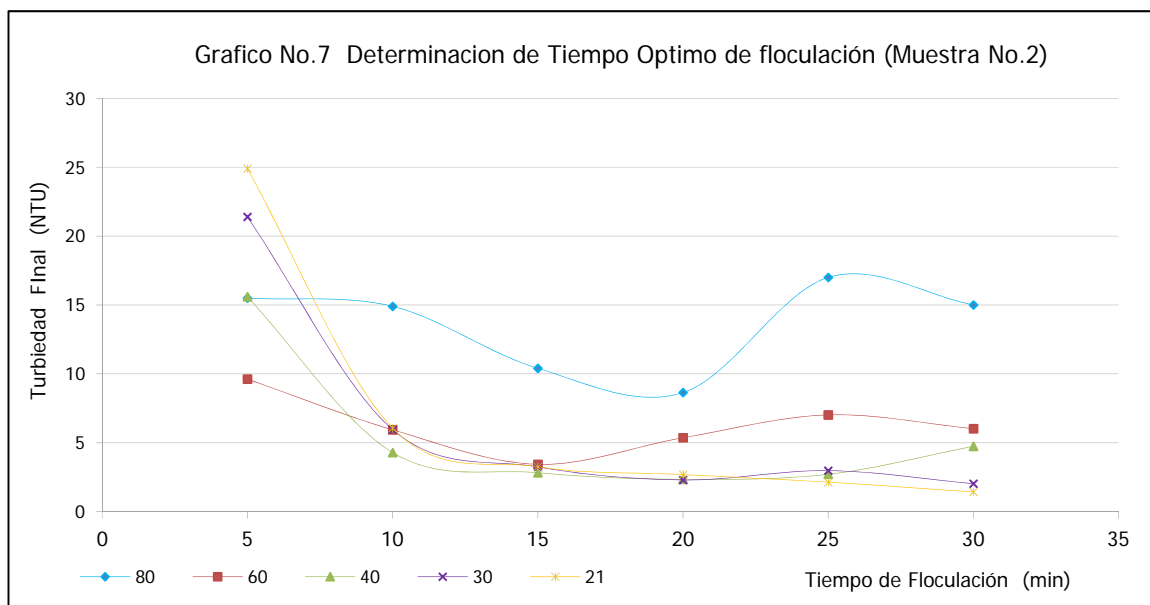
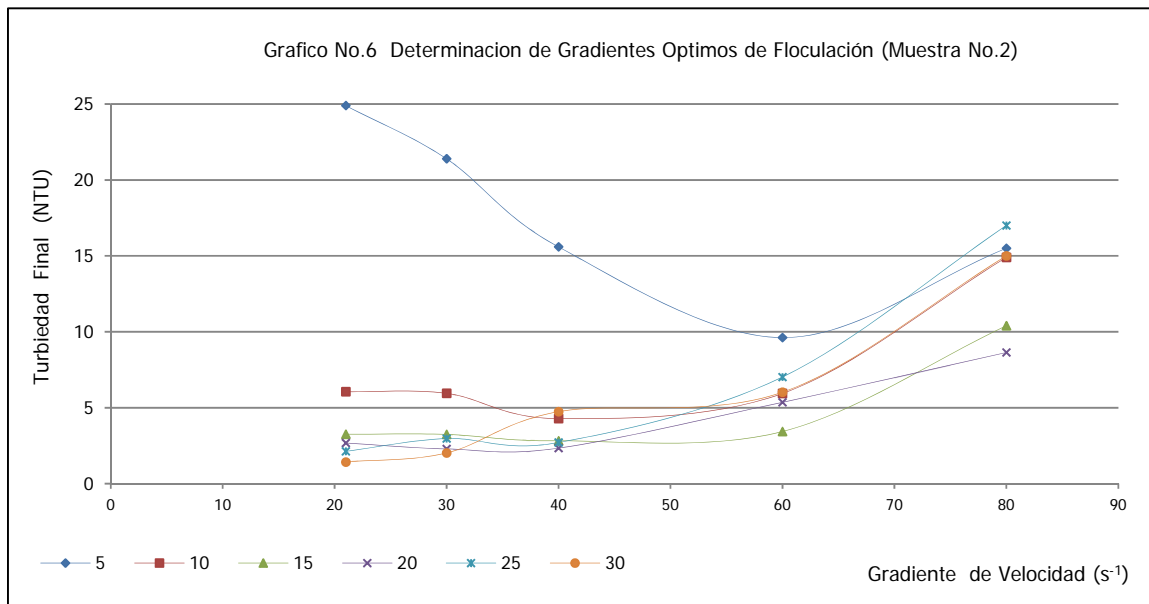
**CUADRO No.10. Determinación de Gradientes de velocidad y tiempo de floculación para la Muestra No.1**

Gradiente de Velocidad $s^{-1}$	Turbiedad Final (NTU)				
	5 min	10 min	15 min	20 min	25 min
80	8.81	5.14	5.12	5.43	4.91
60	8.68	4.19	4.8	5.13	5.32
42	9.53	3.72	3.7	3.45	3.82
20	9.38	4.77	3.3	2.75	3.19



CUADRO No.11. Determinación de Gradientes de velocidad y tiempo de floculación para la Muestra No.2

Gradiente de Velocidad $s^{-1}$	Turbiedad Final (NTU)					
	5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min
80	15.50	14.90	10.40	8.64	17.00	15.00
60	9.62	5.94	3.43	5.36	7.02	6.02
40	15.60	4.29	2.82	2.34	2.71	4.74
30	21.40	5.95	3.24	2.29	2.97	2.02
21	24.90	6.06	3.25	2.68	2.13	1.42

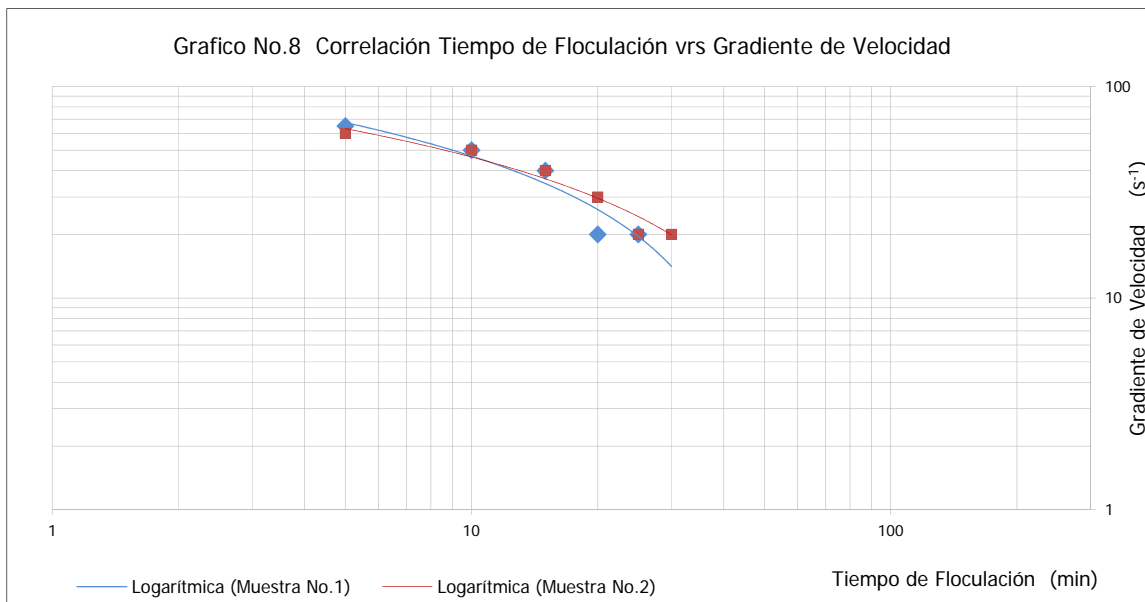


Se efectuó un estudio de Correlación con los valores óptimos obtenidos para cada muestra estudiada, cuyos resultados se sintetizan en el cuadro No. 12 y grafico No. 8.

Como podemos observar las dos muestras estudiadas se comportaron de manera similar, aunque sus turbiedades son muy diferentes, lo que facilita la determinación de los gradientes óptimos de floculación.

**CUADRO No.12. Correlación de Gradiente de Velocidad y Tiempo de floculación**

Gradiente de Velocidad (s <sup>-1</sup> )	Tiempo	5 min	10min	15 min	20 min	25 min	30 min
<b>Muestra No.1</b>		65	50	40	20	20	
<b>Muestra No.2</b>		60	50	40	30	20	20



En general, se puede indicar que para el rango de turbiedades estudiadas, los gradientes y tiempos óptimos, asumiendo un Floculador de tres compartimentos y tomando los valores promedio de cada rango, son los indicados en el cuadro No. 10

**CUADRO No.13 Tiempos y Gradientes Óptimos de Floculación**

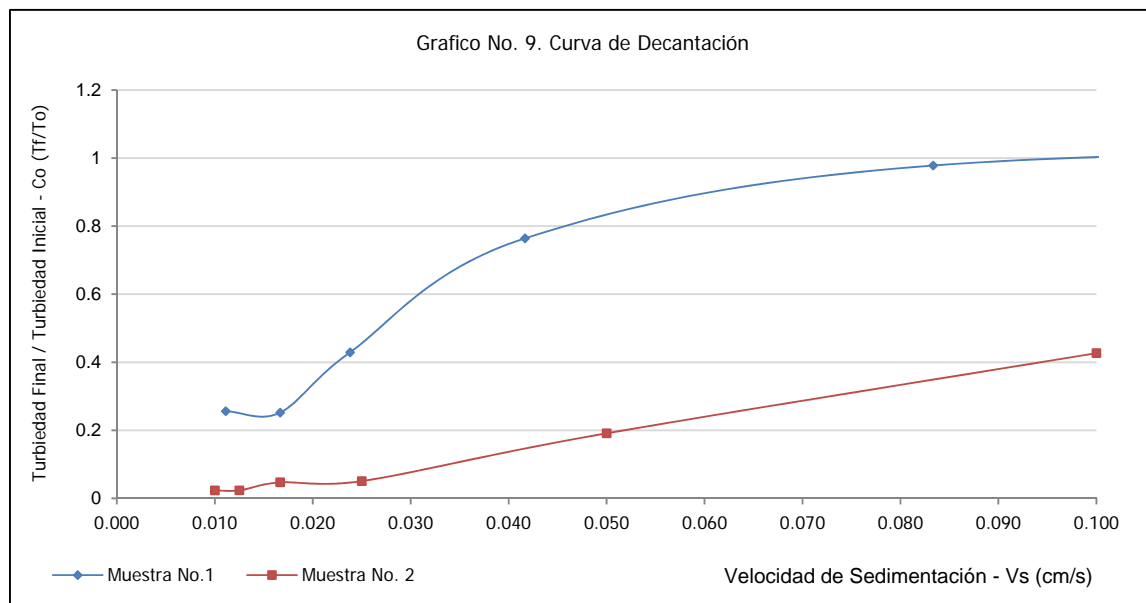
No. de Compartimentos	Tiempo de Retención minutos	Gradiente de Velocidad s <sup>-1</sup>
1	7	55
2	7	38
3	7	20

### 3.5.-RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE DECANTACION

Empleando los gradientes y tiempos óptimos correspondientes, se efectuaron ensayos de decantación con las muestras, obteniéndose las curvas del grafico No. 9

CUADRO No.14. Resultados obtenidos en pruebas de tasa de decantación

Muestra No.1			Muestra No.2		
Velocidad de Sedimentación (cm/s)	Turbiedad Final (NTU)	Co =Turbiedad Final/Turbiedad Inicial	Velocidad de Sedimentación (cm/s)	Turbiedad Final (NTU)	Co =Turbiedad Final/Turbiedad Inicial
0.167	10.4	1.040	0.100	32.60	0.427
0.083	9.78	0.978	0.050	14.60	0.191
0.042	7.64	0.764	0.025	3.87	0.051
0.024	4.29	0.429	0.017	3.60	0.047
0.017	2.52	0.252	0.013	1.80	0.024
0.011	2.56	0.256	0.010	1.79	0.023



Del estudio de las curvas de decantación, se determinó que con una tasa promedio de  $30 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$  se podía obtener un efluente con 1.25 NTU para la muestra No.1 y de 2.03 NTU con la muestra No.2 (Ver cuadros No. 12,13), para efectos de diseño se debe dar una holgura del 30%, por lo tanto se diseño se realiza con una tasa de decantación de  $21 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$

**CUADRO No.15. Determinación de las tasas de decantación para la muestra No. 1**

Tasa de Decantación m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d	Velocidad de sedimentación cm/s	Co	Retención de Turbiedad %	Turbiedad Retenida NTU	Turbiedad Final NTU
10	0.012	0.250	1.001	10.01	-0.01
20	0.023	0.410	0.970	9.70	0.30
24	0.028	0.540	0.931	9.31	0.69
30	0.035	0.680	0.875	8.75	1.25
40	0.046	0.800	0.811	8.11	1.89
45	0.052	0.850	0.783	7.83	2.17
50	0.058	0.880	0.763	7.63	2.37

**CUADRO No.16. Determinación de las tasas de decantación para la muestra No. 2**

Tasa de Decantación m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d	Velocidad de sedimentación cm/s	Co	Retención de Turbiedad %	Turbiedad Retenida NTU	Turbiedad Final NTU
10	0.012	0.025	1.000	76.40	0.00
20	0.023	0.045	0.996	76.07	0.33
24	0.028	0.065	0.989	75.59	0.81
30	0.035	0.110	0.973	74.37	2.03
40	0.046	0.170	0.948	72.42	3.98
45	0.052	0.200	0.934	71.38	5.02
50	0.058	0.230	0.921	70.33	6.07

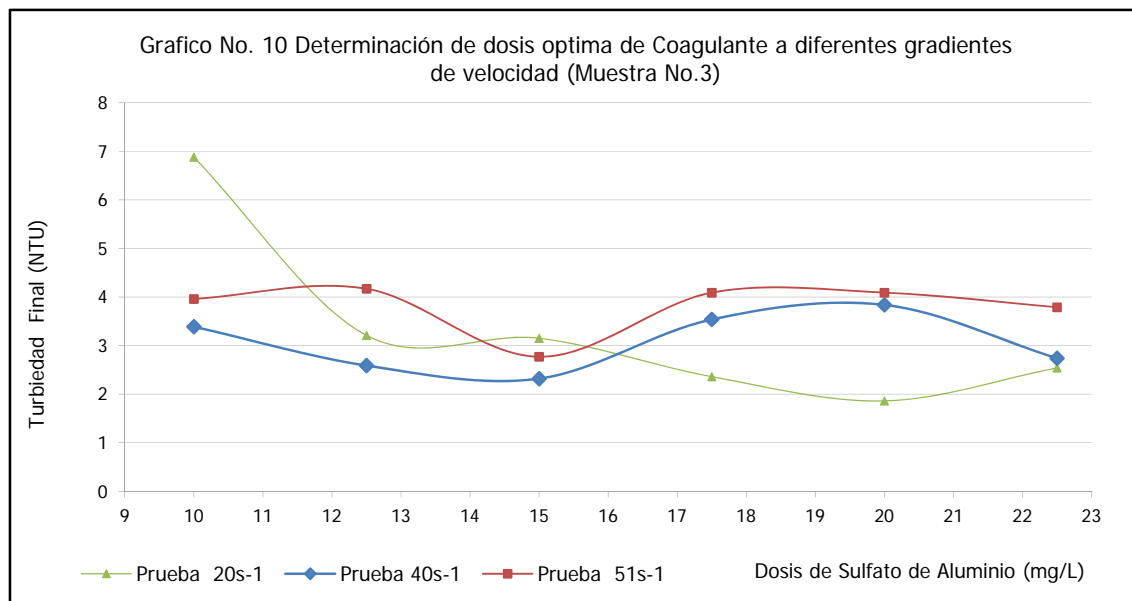


### 3.6.-RESULTADOS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS CON PARAMETROS PLANTA AGUACLARA

A continuación se presentan los resultados obtenidos para verificar cual es el gradiente más conveniente para el floculador si se diseña una planta potabilizadora de Tecnología AguaClara, como se puede observar en el cuadro No.17 y gráfico No. 10, las menores turbiedades a menores dosis se obtienen con un gradiente de velocidad de  $40 \text{ s}^{-1}$  y un tiempo mínimo de floculación de 20 minutos.

**CUADRO No. 17. Determinación de Dosis Óptima a diferentes gradientes de velocidad**

Dosis de Sulfato de Aluminio al 1% (mg /l)	Turbiedad Final		
	NTU		
Gradientes de velocidad	$20 \text{ s}^{-1}$	$40 \text{ s}^{-1}$	$51 \text{ s}^{-1}$
10.0	6.88	3.39	3.96
12.5	3.21	2.59	4.17
15.0	3.15	2.32	2.77
17.5	2.36	3.54	4.09
20.0	1.86	3.84	4.09
22.5	2.54	2.74	3.79



#### 4.- CONCLUSIONES

##### 4.1.- Calidad de la fuente

El principal problema de esta fuente de abastecimiento es el calcio que se deposita en las tuberías como Oxido de Calcio, también en época lluviosa presenta turbiedades mayores de 50 NTU de forma puntual después de cada lluvia.

En análisis bacteriológicos realizados se ha constatado que la fuente tiene contaminación por Coliformes Temotolerantes.

##### 4.2.- Grado de Tratamiento

De acuerdo al caudal a potabilizar (22.0 l/s) y al presupuesto con que se cuente, puede optarse por una planta de filtración rápida completa tecnología CEPIS con los siguientes procesos unitarios coagulación, floculación, decantación, filtración y desinfección; o solo por un sistema que optimice la desinfección y elimine el calcio antes de que se precipite en la red de distribución, es decir una planta de clarificación parcial que contemple solamente los procesos de Coagulación, floculación y decantación, como ser la Tecnología AguaClara.

##### 4.3.- Parámetros óptimos de los procesos

###### 4.3.1.- Dosificación

Las pruebas efectuadas indican una dosis máxima de 20 mg/l, pero dado que se desconoce si la fuente presenta mayores turbiedades que las estudiadas, es necesario que el sistema de dosificación tenga un rango mayor.

###### 4.3.2.- Floculación

El proceso optimiza con un tiempo de 21 minutos y gradientes de velocidad variables entre 55 y 20 s<sup>-1</sup>

###### 4.3.3.- Decantación

Se obtiene un efluente de 2 NTU con una tasa de 30 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d

**Cuadro No.18. Parámetros óptimos del proceso con las muestras estudiadas para una Planta potabilizadora de Tecnología CEPIS**

Instalaciones de Tratamiento	Parámetros Óptimos	
	Instalaciones de Dosificación	Rango de dosis de coagulante
	Concentración	0.1-2% y 10%
	pH óptimo de coagulación	natural
Unidades de Tratamiento	Tiempo de Retención	Gradiente de Velocidad (s <sup>-1</sup> )
Mezclador	instantánea	700-1200
Floculador	7 min	55
	7 min	38
	7 min	20
Decantadores	30 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d (21 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d)	

#### 4.3.4.- Planta Tecnología AguaClara

Después de realizadas las pruebas de tratabilidad con los parámetros de diseño de las plantas AguaClara, se concluye que en la fuente Piedras Amarillas se puede construir una planta de este tipo.

Los parámetros de diseño son los siguientes:

**Cuadro No.19. Parámetros óptimos de Planta de Tecnología AguaClara**

Instalaciones de Tratamiento	Parámetros Óptimos	
Instalaciones de Dosificación	Rango de dosis de coagulante	0-60 mg/l
	Concentración	10%
	pH óptimo de coagulación	natural
Unidades de Tratamiento	Tiempo de Retención	Gradiente de Velocidad (s <sup>-1</sup> )
Mezclador	instantánea	700-1200
Floculador	20min	40
Decantadores	10 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d	

## 5.- RECOMENDACIONES

### 5.1.- Calidad de la Fuente

Continuar con los estudios de determinación de la calidad de la fuente mediante análisis fisicoquímicos y bacteriológicos. Sería de gran utilidad evaluar en su totalidad una época lluviosa para poder determinar el pico mayor de turbiedad a tratar.

### 5.2.- Parámetros de diseño

Como resultado del estudio de laboratorio efectuado se han podido precisar los parámetros óptimos de diseño de los procesos requeridos.

#### 5.2.1.- Sistema de dosificación

Deberá diseñarse para un rango de aplicación 0 a 60mg/l para tener un margen de seguridad con respecto a turbiedades más altas a las estudiadas en el laboratorio.

#### 5.2.2.- Parámetros de Floculación y decantación

Los parámetros de floculación y decantación están fundamentados como para iniciar el diseño del sistema de potabilización, sin embargo se recomienda ampliar el estudio para confirmar la información obtenida hasta ahora.

#### 5.2.3.- Planta Tecnología AguaClara

Dadas las características de la fuente y los resultados obtenidos, se puede construir una planta con tecnología AguaClara.

### 5.3.- Características del sistema propuesto

El sistema de tratamiento para las aguas de la fuente Piedras Amarillas debe estar compuesto por lo menos de:

- Floculador hidráulico de pantallas de flujo vertical
- Decantadores laminares de pantallas paralelas
- Sistema de dosificación de sulfato de aluminio u otro coagulante
- Sistema de dosificación de hipoclorito de calcio
- Bodega
- Laboratorio de control
- Sala, vestuario y servicios para el personal
- Cerco perimetral

## 6.- ANEXOS

### 6.1. CALCULOS DE DIMENCIONAMIENTO DEL FLOCULADOR VERTICAL

Caudal (m <sup>3</sup> /S)	0.022				
Longitud de la unidad	3.19				
Profundidad de la unidad	2.22				
Ancho tramo 1 (m)	0.6				
Ancho tramo 2 (m)	0.6				
Ancho tramo 3 (m)	0.6				
Ancho tramo 4 (m)	0.6				
Ancho tramo 5 (m)	0.6				
Ancho tramo 6 (m)	0.6				
Espesor de cada pantalla (m)	0.002				
n de Manning	0.009				
(v/u) <sup>0.5</sup> a 20°C	3114.64				
Gravedad (m/s <sup>2</sup> )	9.81				
Volumen total de la unidad(m <sup>3</sup> )	25.32				
Ancho total de la unidad (m)	3.60				
Tiempo de floculación (minutos)	19.2				
Perdida de carga total (m)	0.18				
<b>TIEMPO DE RETENCION POR TRAMO (minutos)</b>					
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
3.22	3.22	3.22	3.22	3.22	3.22
<b>Nº COMPARTIMIENTOS ENTRE PANTALLAS POR TRAMO</b>					
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00
<b>ESPACIAMIENTO ENTRE PANTALLAS (m)</b>					
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
0.226000	0.226000	0.226000	0.226000	0.226000	0.226000
<b>PERDIDA DE CARGA TOTAL POR TRAMO (m)</b>					
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
<b>VOLUMEN POR TRAMO (m3)</b>					
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
4.22	4.22	4.22	4.22	4.22	4.22
<b>ALTURAS DE LOS PASOS (m)</b>					
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34
<b>GRADIENTE DE VELOCIDAD TOTAL (s-1)</b>					
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
39	39	39	39	39	39

## 6.2. CALCULOS DE DIMENCIONAMIENTO DEL DECANTADOR LAMINAR

DATOS		
Número de unidades (sencillas)		8
Número de unidades (dobles)		4
Separación de las placas en el plano horizontal	(e')	2.68 cm
Espesor de las placas	(e)	0.02 cm
Longitud del modulo de placas	(l)	73.2 cm
Caudal de diseño de cada decantador	(Q)	0.003 m <sup>3</sup> /s
Tasa de decantación real (del Laboratorio)	(qr)	11.5 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *d
Modulo de eficiencia de las placas	(S)	1.3
Ancho del modulo de placas	(b)	108 cm
Ancho total neto de la zona de decantación	(B)	108 cm
Viscosidad a 25 C°	(u)	0.01 cm <sup>2</sup> /s
Angulo de inclinación de las placas	( O )	60 °
RESULTADOS		
Velocidad de sedimentación de las partículas	(Vs)	0.000133102 m/s
Tasa de decantación aparente	(qa)	126 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *d
Espaciamento entre placas	d=	2.30 cm
Longitud útil dentro de las placas	lu=	71.86 cm
Longitud relativa del modulo de placas	l=	31.23
Coficiente de forma del modulo	f=	10.98
Área superficial de la unidad	As=	1.88 m <sup>2</sup>
Número de canales entre las placas	N=	66
Longitud total del decantador	Lt=	2.12 m
Velocidad media del flujo	Vo=	0.17 cm/s
Radio hidráulico del modulo	Rh=	1.13 cm
Numero de Reynolds	Nr=	76
Velocidad longitudinal máxima	V'o=	0.04 cm/s