

UCUENCA

Universidad de Cuenca

Facultad de Ingeniería

Carrera de Ingeniería Civil

Evaluación hidráulica y propuesta de rediseño del sedimentador de alta tasa de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) de Nero

Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de Ingeniero
Civil

Autores:

Sandra Gabriela Urgilés Barros

Charlee Emanuel Vintimilla Márquez

Director:

Esteban Alonso Pacheco Tobar

ORCID:  0000-0001-9292-7193

Cuenca, Ecuador

2023-06-08

Resumen

El presente trabajo “Evaluación hidráulica y propuesta de rediseño del sedimentador de alta tasa de la Planta de Tratamiento de Agua Potable PTAP de Nero”, tiene dos enfoques principales: la evaluación de las condiciones actuales del sedimentador, y una propuesta de rediseño de la unidad con modificaciones en la configuración del mismo para optimizar su funcionamiento. El estudio se realizó con ensayos y mediciones *in situ* en la Planta de Tratamiento Agua Potable (PTAP) de Nero, así como con ensayos de laboratorio. El sedimentador de alta tasa de la PTAP cuenta con dos cámaras y módulos tubulares cuadrados de ABS en la zona de sedimentación. El presente estudio se enfoca en el funcionamiento de la unidad, valorando la sedimentación efectiva del flóculo y evaluando la calidad del agua sedimentada. La PTAP experimentó un incremento en la demanda con respecto a su caudal de diseño (60 l/s), lo que produjo un incremento en el caudal de ingreso a la unidad en estudio (74 l/s). Mediante pruebas de laboratorio se determina que las cámaras de sedimentación poseen una eficiencia de remoción de turbiedad máxima de 35%, debido a la naturaleza de los flóculos producidos en procesos anteriores, además mediante registros tiempo historia *in situ* se observa un incremento de turbiedad del agua decantada tras el proceso de sedimentación. Es por esto que para escenarios futuros para una mayor demanda de caudal se requiere de mejoras en la los procesos de floculación, para aumentar la eficiencia de remoción de turbiedad y color a la salida de las cámaras de sedimentación.

Palabras clave: planta de tratamiento de agua potable, sedimentación, sedimentador de alta tasa, flóculo



El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Cuenca ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por la propiedad intelectual y los derechos de autor.

Repositorio Institucional: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Abstract

The present research "Hydraulic evaluation and redesign proposal of the high-rate settler of the Nero (DWTP) Drinking Water Treatment Plant" has two main focuses: the evaluation of the current conditions of the settler, and then a redesign proposal of the unit with modifications in its configuration to optimize its operation. The study was carried out with tests and *in situ* measurements at the Nero Drinking Water Treatment Plant (DWTP), as well as with laboratory tests. The DWTP's high rate settler has two chambers and ABS square tubular modules in the settling area. The present study focuses on the operation of the unit, assessing the effective sedimentation of the floc and evaluating the quality of the settled water. The Drinking Water Treatment Plant experienced an increase in demand of its initially designed water flow (60 l/s), which produced an increase in the flow (74 l/s) to the unit. Through laboratory tests it is determined that the sedimentation chambers have a maximum turbidity removal efficiency of 35%, due to the nature of the flocs produced in previous processes, also through *in situ* time history records an increase in turbidity is observed after the sedimentation process. For this reason, for future scenarios for a greater flow demand, improvements are required in the flocculation processes, to increase the efficiency of turbidity and color removal at the outlet of the sedimentation chambers.

Keywords: drinking water treatment plant, sedimentation, high rate settler, floc



El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Cuenca ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por la propiedad intelectual y los derechos de autor.

Repositorio Institucional: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Índice de contenidos

1. Introducción.....	13
1.1 Antecedentes, Problemática y Justificación	13
2. Objetivos	15
2.1. Objetivo General.....	15
2.2. Objetivos Específicos	15
3. Marco teórico	16
3.1. Sedimentadores	16
3.2. Tipos de Sedimentadores	16
3.3. Sedimentadores de módulos tubulares de flujo ascendente.....	16
3.4. Parámetros operacionales	17
3.4.1. Calidad del agua sedimentada	17
3.4.2. Carga superficial	17
3.4.3. Velocidad de sedimentación	18
3.4.4. Gradiente de velocidad	19
3.4.5. Tamaño del Flock producido.....	20
4. Área de Estudio.....	22
4.1. Inspección inicial	22
4.1.1. Recopilación de información en campo.....	22
4.1.2. Recorrido por la planta.....	23
4.1.3. Ficha técnica de inspección inicial.....	23
5. Materiales y Métodos.....	27
5.1. Levantamiento topográfico	27
5.2. Ensayos	27
5.2.1. Ensayo en Campo.....	27
5.2.2. Ensayos de laboratorio	28

6.	Resultados y discusión	30
6.2.	Capacidad de hidráulica y de producción del sedimentador	32
6.3.	Capacidad de los procesos de amortiguar los picos de turbiedad y color	33
6.4.	Diagnóstico preliminar	35
6.5.	Funcionamiento del sedimentador de la PTAP de Nero	36
6.6.	Evaluación	40
6.6.1.	Eficiencia de los sedimentadores	40
6.6.2.	Geometría de la unidad de sedimentación	41
6.6.3.	Caudal de operación	42
6.6.4.	Zona de entrada	42
6.6.5.	Conducto de distribución de agua floculada.....	43
6.6.6.	Zona de sedimentación.....	44
6.6.7.	Eficiencia de velocidad de sedimentación	44
6.6.8.	Zona de salida.....	45
6.6.9.	Análisis de flujo y tiempo de retención.....	46
6.7.	Propuesta de Rediseño con las condiciones actuales	48
6.7.1.	Zona de entrada	48
6.7.2.	Zona de sedimentación.....	49
6.8.	Caracterización de parámetros hidráulicos para nuevos escenarios de funcionamiento	49
6.8.1.	Zona de entrada	49
6.8.2.	Conducto de distribución de agua floculada.....	50
6.8.3.	Zona de sedimentación.....	50
6.8.4.	Zona de salida.....	51
6.8.5.	Ensayos de laboratorio para nuevos escenarios de funcionamiento.....	51
7.	Conclusiones y recomendaciones.....	53

UCUENCA

6

8. Referencias	56
9. Anexos	57
10. Anexos (Planos)	79

Índice de ilustraciones

Ilustración 1 Tipos de sedimentadores	16
Ilustración 2 Límites de turbiedad en procesos del tratamiento de agua.....	17
Ilustración 3 Comparador para estimar el tamaño del flóculo producido.....	21
Ilustración 4 Esquema de flujo de la PTAP de Nero	22

Índice de gráficos

Gráfico 1 Capacidad actual del sedimentador de la PTAP de Nero	33
Gráfico 2 Color del agua cruda del 2022	33
Gráfico 3 Turbiedad del agua cruda del 2022	34
Gráfico 4 pH del agua cruda del 2022	35
Gráfico 5 Curva de sedimentación en la evaluación	29
Gráfico 6 Turbiedad y color del agua cruda y sedimentada	40
Gráfico 7 Porcentaje de turbiedad residual en la evaluación	45
Gráfico 8 Conductividad vs tiempo del ensayo de trazadores	46
Gráfico 9 Tipos de flujo de la prueba de trazadores.....	48
Gráfico 10 Porcentaje de turbiedad residual en el rediseño	49

Índice de esquemas

Esquema 1 Entrada al sedimentador	37
Esquema 2 Cámaras de sedimentación.....	37
Esquema 3 Conducto triangular de distribución en la cámara de sedimentación	38
Esquema 4 Vista en planta de la salida del agua sedimentada.....	38
Esquema 5 Tubería de agua sedimentada.....	39

Índice de tablas

Tabla 1 Valores recomendados de cargas superficiales.....	18
Tabla 2 Eficiencia de sedimentación Fuente: Romero,1999.....	19
Tabla 3 Índice de floculación de Willcomb.....	21
Tabla 4 Características de los módulos de sedimentación rápida.....	23
Tabla 5 Color del agua cruda.....	33
Tabla 6 Turbiedad del agua cruda.....	34
Tabla 8 pH del agua cruda.....	35
Tabla 9 Tiempo de retención del sedimentador.....	28
Tabla 10 Eficiencia de remoción de la turbiedad en la evaluación.....	28
Tabla 11 Turbiedad y color del agua cruda y sedimentada.....	40
Tabla 12 Clasificación en función de la calidad del agua producida.....	41
Tabla 13 Geometría de la cámara de sedimentación.....	41
Tabla 14 Geometría de los módulos tubulares de celdas cuadradas.....	41
Tabla 15 Geometría de la evacuación del agua clara.....	42
Tabla 16 Distribución de caudales en cada cámara de sedimentación.....	43
Tabla 17 Gradientes de compuertas en la zona de entrada del sedimentador.....	43
Tabla 18 Gradientes del conducto de distribución del agua floculada.....	44
Tabla 19 Parámetros hidráulicos de la zona de sedimentación en la evaluación.....	44
Tabla 20 Parámetros en la evaluación de la salida de agua clara.....	45
Tabla 21 Tipos de flujo en la evaluación de las zonas del sedimentador.....	46
Tabla 22 Criterios y condiciones hidráulicas de la curva de conductividad.....	47
Tabla 23 Parámetros del análisis del flujo en el sedimentador.....	47
Tabla 24 Gradientes en el rediseño de la nota de entrada.....	48
Tabla 25 Gradientes de la zona de entrada de los nuevos escenarios de funcionamiento ..	50
Tabla 26 Gradientes de la zona de distribución de los nuevos escenarios de funcionamiento.....	50
Tabla 27 Parámetros hidráulicos en la zona de sedimentación de los nuevos escenarios de funcionamiento.....	51
Tabla 28 Parámetros hidráulicos en la zona de salida de los nuevos escenarios de funcionamiento.....	51

Dedicatoria

Esta tesis se la dedico con todo mi corazón a:

Mi madre, Sandra y mi abuela, Laura; quienes desde un principio me han formado como una mujer fuerte y perseverante, capaz de comerse el mundo si se lo propone. El esfuerzo y trabajo de esta carrera de ingeniería se lo dedico a tan grandes mujeres de quienes tengo la certeza velan por mí y guían mi alma siempre.

Mi familia, en especial mi padre, Ricardo, mi padrino, Marcelo, mis hermanos, Daniel y Emilia y mi abuelo, Luis y mi perro, Marty, quienes han sido mi apoyo fundamental, fuerza y motivación para seguir adelante y la mejor compañía en todos los momentos de mi vida.

A mis compañeros y amigos, Gaby O, Migue, Paul, Majo y Dey, quienes desde el primer día de la universidad se volvieron parte de mi familia habiendo formado parte de los mejores y peores anécdotas, largas noches de estudio y madrugadas de celebración, siempre apoyándonos mutuamente aspiro sigamos seguir teniéndolos en nuestras vidas por muchos años más.

Sandra Gabriela Urgilés Barros

Gracias a Dios por darme la fuerza para aguantar los golpes de la vida, la paciencia para aceptarlos y la sabiduría para saber cuándo devolverlos.

Este trabajo de titulación está dedicado a mi familia y amigos, su apoyo incondicional es la razón que me impulsa a seguir adelante. Por estar siempre ahí les doy las gracias.

Charlee Emmanuel Vintimilla Márquez

Agradecimientos

A nuestro director, Ing. Esteban Pacheco Tobar, que con su apoyo nos acompañó durante el desarrollo de este trabajo de titulación y durante toda la carrera de ingeniería civil en la Universidad de Cuenca, quien además de ser un muy buen docente se mostró siempre abierto hacia sus estudiantes como un gran ser humano.

De manera especial, a la Dra. Guillermina Pauta por ser un gran apoyo y fuente de motivación, por su esfuerzo y dedicación como una gran mentora a lo largo de la realización de este estudio y clases de la carrera.

Agradecemos el apoyo del Ingeniero Oscar Vintimilla y de la Ingeniera Ximena Criollo, quienes como parte del proyecto Nero, nos dieron la apertura a la Planta de Agua Potable de Nero, y facilitaron la información necesaria para realizar nuestro trabajo de titulación.

Agradecemos infinitamente a todos los docentes quienes han aportado a nuestro desarrollo personal e intelectual.

A nuestras familias, por su amor infinito y respaldo absoluto al formarnos con sus valores para llegar a ser buenos profesionales.

A nuestros amigos y compañeros por su apoyo incondicional durante los años de carrera, con especial mención a Mateo, Junior y Daniel, quienes nos ayudaron en las visitas técnicas a la planta.

Sandra Gabriela Urgiles Barros

Charlee Emmanuel Vintimilla Márquez

1. Introducción

1.1 Antecedentes, Problemática y Justificación

Todo sistema de agua potable se inicia con la selección de la fuente, seguida de la captación, conducción, tratamiento y distribución. La potabilización varía dependiendo de la calidad del agua cruda a tratar, pero consiste en una serie de operaciones unitarias y procesos necesarios para que el agua producida sea apta para el consumo humano.

El presente trabajo de titulación se realiza en la Planta de Tratamiento Agua Potable (PTAP) de Nero, la cual potabiliza el agua captada de hasta 7 fuentes localizadas en la provincia del Azuay, para dar cobertura a varias comunidades sobre todo del área rural del Cantón Cuenca; se aplica el tratamiento convencional de: coagulación, floculación, sedimentación, filtración y cloración, precedido de un pretratamiento con aireación y prefiltración. La planta tiene 30 años de funcionamiento y actualmente abastece a aproximadamente 8100 usuarios; no obstante, mensualmente hay más de 30 solicitudes de nuevos usuarios, por lo que la planta requiere incrementar el caudal de concesión y una mayor capacidad de tratamiento.

El objetivo principal de este trabajo de titulación consiste en el análisis hidráulico del sedimentador de alta tasa de la planta, el cual cuenta con dos cámaras y módulos tubulares cuadrados de ABS. Esta unidad presenta evidentes deficiencias de funcionamiento en cuanto a la sedimentación de los flóculos; claramente se observa gran cantidad de ellos sobre el líquido sobrenadante, además de la ausencia de registros y estudios suficientes para evaluar la calidad del agua sedimentada por medio de los indicadores respectivos. Este problema de funcionamiento en el sedimentador se debe en parte, a que se trata un caudal mayor al de diseño, además de la ausencia de registros, documentación, especialmente la memoria de diseño y la falta de un plano constructivo del sedimentador que permita evaluar el funcionamiento del mismo en todas sus zonas. El análisis hidráulico se llevará a cabo en las cámaras de sedimentación de alta tasa evaluando los parámetros respectivos en las zonas de entrada al sedimentador, en la cámara de sedimentación y en la zona de salida del agua sedimentada.

El presente trabajo de titulación “Evaluación hidráulica y propuesta de rediseño del sedimentador de alta tasa de la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) de Nero”,

evalúa las condiciones actuales del sedimentador, para lo cual se presentan resultados de parámetros hidráulicos, análisis físico - químico de la calidad del agua y un plano del sedimentador; además se propone un rediseño de esta unidad, mediante modificaciones a la

configuración del mismo con el fin de solventar problemas existentes y optimizar su funcionamiento.

2. Objetivos

2.1. Objetivo General

Evaluar los parámetros hidráulicos de las cámaras de sedimentación de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Nero en su estado actual.

2.2. Objetivos Específicos

Caracterización de los parámetros hidráulicos en nuevos escenarios de funcionamiento de las cámaras de sedimentación.

Elaborar una propuesta de rediseño para optimizar el funcionamiento de las cámaras de sedimentación de la PTAP de la Parroquia Nero.

3. Marco teórico

3.1. Sedimentadores

Según el CEPIS, la decantación es “la sedimentación de partículas floculentas, formadas por la aglomeración de partículas discretas en suspensión, mediante la acción de una sustancia química con propiedades coagulantes” (CEPIS, 2005).

3.2. Tipos de Sedimentadores

La clasificación de los sedimentadores según el flujo se presenta en Ilustración 1:

Sedimentadores		
1. Estáticos	2. Laminares/ alta tasa	3. De manto de lodos dinámicos
pueden tener flujo radial o horizontal	Son poco profundos, tienen distintos tipos de módulos en los que el agua tiene un flujo laminar	se utilizan en las plantas de tecnología importada
2.1. Con módulos	2.2. De flujo	2.3. De procesos unitarios:
2.1.1. Tubulares: cuadrados, circulares, rectangulares	2.2.1. Horizontal	2.3.1. Estáticos
2.1.2. De placas: planos y corrugados	2.2.2. Inclinado: puede ser descendente o ascendente	2.3.2. Dinámicos
2.1.3. De secciones patentadas		

Ilustración 1 Tipos de sedimentadores

Fuente: Manual III: Evaluación de plantas de tecnología apropiada CEPIS, 2005

3.3. Sedimentadores de módulos tubulares de flujo ascendente

En este tipo de sedimentadores se procura que el agua floculada se distribuya a lo largo del área de sedimentación con un flujo laminar (CEPIS, 2005). Cuenta con cuatro zonas:

Zona de entrada: la entrada del agua floculada al sedimentador debe ser una transición que permita una distribución uniforme y sin cambios bruscos.

Zona de sedimentación: compuesta por módulos tubulares cuadrados, rectangulares o hexagonales.

Estructura de salida de agua: conformada por canaletas o tuberías perforadas uniformemente colocadas a lo largo del área de sedimentación.

Zona de lodos y sistema de evacuación de lodos: los lodos no deberían estar retenidos por más de 1 o 2 días, por lo que se debe contar con tolvas.

3.4. Parámetros operacionales

3.4.1. Calidad del agua sedimentada

Se trata de remover físicamente los microorganismos patógenos y otras sustancias indeseables contenidos en las partículas (aglomerados) formadas en el proceso de floculación, proceso que se evalúa principalmente con monitoreos de turbiedad a la entrada y salida de los sedimentadores. Para optimizar la producción de agua sedimentada de alta calidad y no sobrecargar a los filtros, el agua sedimentada debería tener máximo 2 UNT para entrar al filtro (CEPIS, 2005).

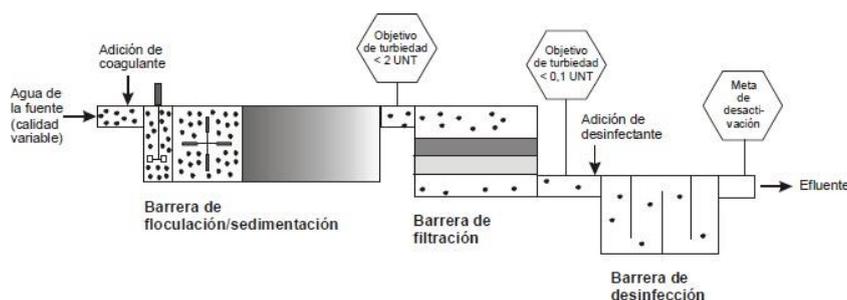


Ilustración 2 Límites de turbiedad en procesos del tratamiento de agua

Fuente: (CEPIS, 2005)

El color en el agua cruda puede ser de naturaleza orgánica por la presencia de las sustancias húmicas y otras veces puede tener origen mineral debido a metales (hierro, manganeso, cobre) presentes en la misma; el límite máximo de color que debe tener el agua filtrada es de 15 U.C. (NTE INEN 1108, 2020).

3.4.2. Carga superficial

Es la velocidad de sedimentación crítica mínima de la partícula para su remoción y su eficiencia depende del tipo de sedimentador (Crittenden, Trussell, Hand, Howe, & Tchobanoglous, 2012). Además, se debe procurar que el caudal a tratar sea constante para que la tasa de sedimentación no cambie. (CEPIS, 2005)

$$C_s = \frac{Q}{A_s} \tag{1}$$

donde:

C_s [$m^3/m^2/día$]: carga superficial;

A_s [m^2]: área superficial de la cámara de sedimentación;

Q [$m^3/día$]: caudal de entrada.

Los valores de carga superficial recomendados dependen de las condiciones del agua cruda y del tipo de sedimentador; estos valores se presentan en la Tabla 1.

Cs (m/d)	Observaciones	Cs (m/d)	Observaciones
120 – 300	-	150 – 180	Flujo horizontal, T > 10 °C, Turbiedad: 100 - 1000
120 – 240	Flujo ascensional	60 – 240	Valor promedio 180 m/d
150 – 240	Flujo horizontal, T < 4 °C, Turbiedad < 100	150	Floculador de alambre, agua fría
150 – 180	Flujo horizontal, T < 4 °C, Turbiedad: 100 - 1000	216	Sedimentadores tubulares
150 - 240	Flujo horizontal, T > 10 °C, Turbiedad < 100	180 – 300	Sedimentadores tubulares

Tabla 1 Valores recomendados de cargas superficiales

Fuente: (Romero, 1999)

3.4.3. Velocidad de sedimentación

Parámetro que determina la decantación de flóculos que posean una velocidad igual o mayor a la velocidad de sedimentación en el sedimentador (Arboleada, 2000), se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$w_s = \frac{S * V_o}{\sin(\theta) + \frac{L}{u} * \cos(\theta)} \tag{2}$$

donde:

w_s [m/s]: velocidad de sedimentación de la partícula;

S [-]: Coeficiente de eficiencia.

El coeficiente de eficiencia se relaciona con la forma de la celda que poseen los módulos de sedimentación. Se presentan los valores recomendados para diferentes módulos en la Tabla 2.

Tipo	Valor de S
Flujo uniforme	1
Sedimentador abierto de profundidad muy pequeña	1
Placas paralelas	1
Tubos circulares	4/3
Tubos cuadrados	11/8
Otras formas tubulares	1.33 – 1.42
Placas onduladas (paralelas)	1.30

Tabla 2 Eficiencia de sedimentación
Fuente: (Romero, 1999)

La longitud útil en la cual se sedimentan las partículas considera un flujo laminar desde una longitud X_L , para la cual varios autores han propuesto distintas expresiones (Arboleada, 2000).

$$L_u = L - X_L \quad (3)$$

donde:

L_u [m]: longitud útil de la placa;

L [-]: longitud efectiva;

X_L [m]: longitud de desarrollo de flujo.

$$\text{Schulze} \quad X_L = 0.013 * R_e * e \quad (4)$$

$$R_e = \frac{V * 4 * Rh}{\nu} \quad (5)$$

donde:

R_e [-]: número de Reynolds;

V [m/s]: velocidad de flujo;

ν [m²/s]: viscosidad cinemática;

L [m]: longitud característica de flujo.

Para garantizar un flujo laminar se recomienda número de Reynolds menores a 200 y hasta 500 (Romero, 1999).

3.4.4. Gradiente de velocidad

Se considera como el cambio de velocidad entre la distancia de las placas; este parámetro se usa para determinar el grado de turbulencia en el sistema en base al grado de disipación de energía (Pedocchi & Piedra-Cueva, 2005). Se expresa de la siguiente manera:

$$\text{Gradiente de velocidad} \quad \overline{G = \sqrt{\frac{g * H}{T_o}}} \quad (6)$$

$$\text{Gradiente de orificios} \quad \overline{G = \sqrt{\frac{f * V_o^3}{8 * R_h * v}}} \quad (7)$$

donde:

$G [s^{-1}]$: *gradiente de velocidad para compuertas;*

$f [-]$: *factor de importancia del reactor (0.03 a 0.04);*

$v [m^2/s]$: *viscosidad cinemática del fluido;*

$R_h [m]$: *radio hidráulico del canal;*

$g [m^2/s]$: *aceleración de la gravedad;*

$H [m]$: *pérdida de carga en el reactor;*

$T_o [s]$: *tiempo de retención promedio en el reactor.*

El tiempo de retención promedio en el reactor se considera como el tiempo promedio necesario para que el volumen de un reactor se desocupe por completo (CEPIS, 2005).

$$T_o = V/Q \quad (8)$$

3.4.5. Tamaño del Flock producido

Cuando se realiza el ensayo de jarras en laboratorio para la determinación de la dosis óptimas de los químicos, se debe observar el tamaño de floculo producido en las mismas para evaluar sus características cuantitativamente. La manera de evaluar el tamaño del floculo en mm es según la Ilustración 3 desarrollada por Walter Research Institute de Inglaterra o según el índice del Willcomb Tabla 3 (CEPIS, 1992).

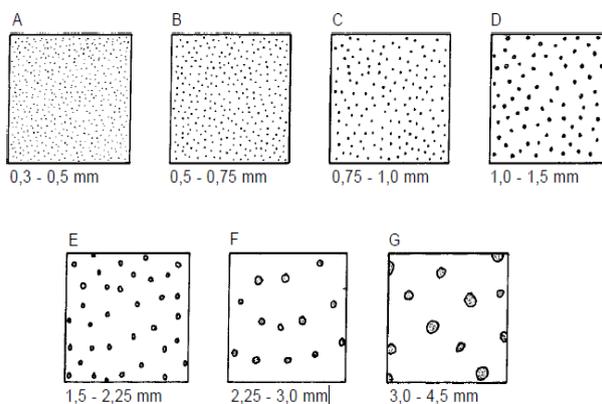


Ilustración 3 Comparador para estimar el tamaño del flóculo producido en coagulación
 Fuente: (CEPIS, 1992)

Número del índice	Descripción
0	Flóculo coloidal. Ningún signo de aglutinación.
2	Visible. Flóculo muy pequeño, casi imperceptible para un observador no entrenado.
4	Disperso. Flóculo bien formado pero no uniformemente distribuido (sedimenta muy lentamente o no sedimenta).
6	Claro. Flóculo de tamaño relativamente grande pero que precipita con lentitud.
8	Bueno. Flóculo que se deposita fácil pero no completamente.
10	Excelente. Flóculo que se deposita totalmente, dejando el agua cristalina.

Tabla 3 Índice de floculación de Willcomb
 Fuente: (CEPIS, 1992)

4. Área de Estudio

4.1. Inspección inicial

Para determinar si un sedimentador está funcionando de manera correcta, es necesario evaluar la operación de los elementos del mismo, comenzando por identificar los parámetros operacionales, que se ajustan a la calidad del agua y además reconocer las deficiencias del diseño que produzcan problemas hidráulicos e impidan operar la planta con la eficiencia deseada (CEPIS, 2005).

4.1.1. Recopilación de información en campo

Los planos de replanteo del sedimentador realizados en el año 2007, fueron provistos por La Junta Administradora de Agua del Proyecto Nero; sin embargo, no presentan la geometría completa de la cámara de sedimentación. El diagrama de flujo de la planta, se muestra en la Ilustración 4.

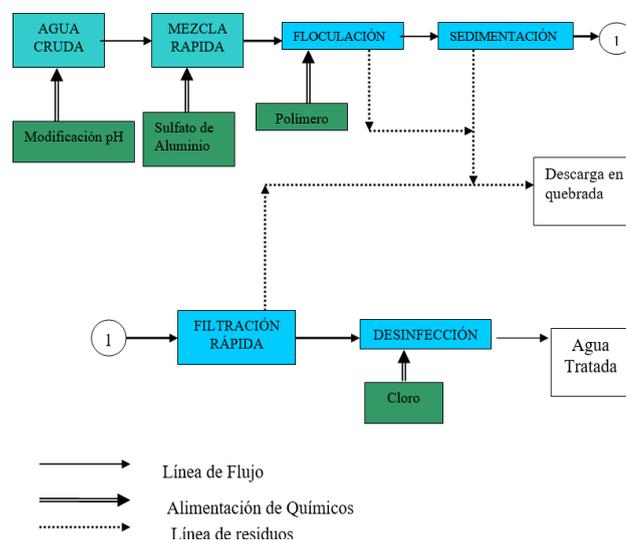


Ilustración 4 Esquema de flujo de la PTAP de Nero

La ficha técnica señala que las dos cámaras de sedimentación tienen módulos de sedimentación rápida de Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS), los cuales fueron provistos e instalados por COVALCO Cía. Ltda. en el año 2015. Según esta ficha, el material de los módulos es aprobado por la FDA de USA, no permite la proliferación de hongos, provee resistencia a ácidos y álcalis, lavable y atóxico. Además, los módulos ecualizan la velocidad

ascensional tanto en condiciones normales como en condiciones de turbiedad obteniendo un rendimiento promedio mínimo de 1.2 l/m/s.

Las características de los módulos de sedimentación rápida se muestran en la Tabla 4:

Descripción	Valor	Unidad
Espesor de lámina	0.7	mm
Altura de lámina	50	cm
Largo de lámina	2.16	m
Dimensión de celda	5x5	cm
Inclinación de celda	60	°

Tabla 4 Características de los módulos de sedimentación rápida

La ficha técnica de los químicos utilizados para el tratamiento y la tabla de dosificación se adjunta en Anexo A.

Los manuales de operación y mantenimiento del sedimentador se adjuntan en Anexo B.

No se conoce bien, el caudal de agua que trata la planta actualmente; pues el medidor de caudal presenta medidas inconsistentes y variables por la gran cantidad de aire que ingresa en la tubería de ingreso a la planta.

4.1.2. Recorrido por la planta

Se realizaron varias visitas técnicas a la PTAP de Nero, en las cuales se evidenció el estado actual de las estructuras del proceso de tratamiento, además de realizar el levantamiento a detalle de las dimensiones del sedimentador e indagar a los operadores sobre la historia, operación y mantenimiento del mismo. Con esta información se tiene la siguiente ficha técnica de inspección inicial, la cual provee una vista general de la planta que es de tipo convencional y se exhiben todas sus características.

4.1.3. Ficha técnica de inspección inicial

Ficha técnica para la inspección inicial

Fecha: noviembre del 2022

A. UBICACIÓN

1. País: Ecuador
2. Nombre de la planta: Planta de Tratamiento de Agua Potable de Nero
3. Localidades abastecidas: principalmente Baños, Turi y El Valle
4. Localización: Nero Provincia: Azuay
5. Dirección de la planta: UTM WGS84 ZONA 17 S, N 712849,2 E 9672859,5
- Distancia del centro de cuenca: 11km Altitud: 3038 m. s. n. m.
6. Institución propietaria o administradora: Junta Administradora de Agua Potable y Saneamiento Regional "PROYECTO NERO"

*Imagen 1 PTAP de Nero*

B. FUENTE DE ABASTECIMIENTO, CAPTACIÓN, CONDUCCIÓN Y ACONDICIONAMIENTO PREVIO

7. Fuente de abastecimiento:
Quebradas: Dos quebradas principales que conforman el río Zhucay, Chanchán y Gulaghuaycu. El área de aporte de Chanchán es de 351,2 ha y para la quebrada de Gulaghuaycu es de 486,2 ha.
 - 7.1 Tipo de toma: azud
 - 7.2 Conducción de agua cruda: La captación de agua se encuentra en la unión de las quebradas principales, transportando el agua cruda por gravedad a la PTAP de Nero con una tubería de 315 mm a lo largo de 17 km.
 - 7.3 Pre-tratamiento: dos pileras aireadoras y dos prefiltros cilíndricos.
Prefiltros: capa de grava, de 2cm de tamaño máximo nominal, de 1.5 m de altura.
-

C. CALIDAD DE LA FUENTE

a) Turbiedad y color

Según los registros de los operadores utilizados para la curva de la dosificación, la PTAP de Nero es apta para tratar agua con turbiedad entre 0.7 y 3.7 NTU, color desde 20 hasta 150 U.C. (Pt-Co). y pH en un rango de 6.5 a 7.2.

El Gráfico 1 muestra los análisis realizados durante los meses de enero a diciembre del 2022, en los cuales se confirma que el agua que ingresa a la planta está dentro de sus límites de tratabilidad pues la turbiedad el 95% del tiempo está en 2.73 NTU con un pico máximo de 13.9 NTU, el color el 95% del tiempo está en 150 UC con un máximo de 438 UC.

De acuerdo a estas condiciones, el agua que trata la planta presenta la condición más difícil de tratabilidad pues es coloreada y poco turbia, Las fuentes de agua provienen de quebradas pertenecientes a cuencas con elevada vegetación y poco erosionadas

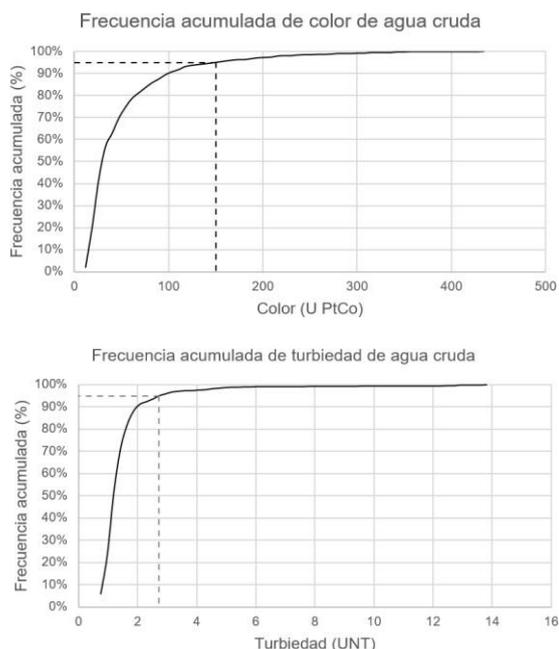


Gráfico 1 Color y turbiedad del agua cruda 2022

D. CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTA

8. Caudal de la planta

8.1 Caudal de diseño: 60 L/s

8.2 Caudal normal con el que opera la planta: 70 L/s

La mayor parte del tiempo en que no existen lluvias intensas o prolongados tiempos de estiaje, la planta opera en esta condición

8.3 Caudal máximo con el que opera la planta: 74 L/s

En los meses de invierno, de febrero a mayo

8.3 Caudal mínimo con el que opera la planta. 60 L/s

En los meses de estiaje prolongado, septiembre a diciembre

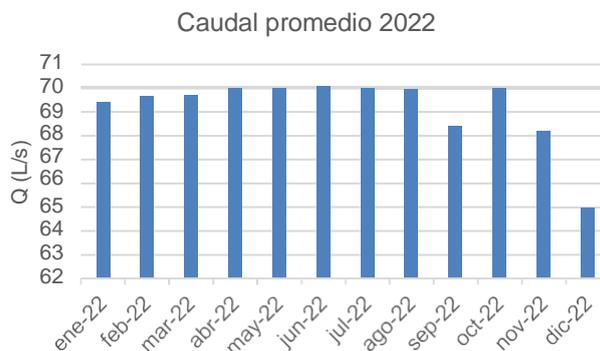


Gráfico 2 Caudal de ingreso a la PTAP de Nero 2022

9. Tipo de PTAP

9.1 Planta de filtración rápida con sedimentadores de alta tasa de flujo ascendente

a) Convencional clásica: de tecnología apropiada

Año en que se inauguró: 1993

Año en que se remodeló/amplió/optimizó: no se cuenta con registros escritos, pero se estima tuvo remodelaciones y optimizaciones en el 2005 y en el 2015¹.

10. Descripción de los componentes de la PTAP:

10.1 Medidor de caudal:

Tipo: macro medidor electromagnético
 Marca: B Meters MAG

10.2 Mezcla rápida

Tipo: Resalto hidráulico en plano inclinado
 b) Punto de aplicación: En el resalto hidráulico

10.3 Floculadores

a) Tipo: Hidráulico
 b) Número de unidades: 2
 c) Número de tramos: 4
 d) Profundidad útil: 1 m
 e) Ancho de la unidad: 7.47 m
 f) Largo de cada tramo:
 Unidad 1: Tramo 1: 2.95 m Unidad 2: Tramo 3: 3.34 m
 Tramo 2: 2.97 m Tramo 4: 3.37 m
 f) Tiempo de retención del proyecto: 20 min
 g) Tiempo de retención de operación: 18.25 min

10.4 Decantadores

a) Tipo: alta tasa con módulos tubulares cuadrados
 b) Flujo: ascendente.
 b) Número de unidades: 2
 c) Área efectiva de cada unidad del proyecto: 17 m²
 e) Área efectiva de cada unidad de operación: 23.76 m²
 f) Tasa superficial del proyecto: 153 m³/m²/día
 g) Tasa superficial de operación normal: 128 m³/m²/día
 h) Tiempo de retención en las placas del proyecto: 2.26 min
 i) Tiempo de retención en las placas de operación normal: 6.7 min
 j) Tiempo de retención en el sedimentador del proyecto: no hay registro
 k) Tiempo de retención en el sedimentador del proyecto: 33 min
 l) Número de Reynolds del proyecto: 200
 m) Número de Reynolds operación normal: 69.3

10.5 Filtros

a) Tipo de filtro: en batería de flujo descendente con tasa constante
 b) Número de unidades: 4
 c) Tipo de lecho filtrante: doble de grava y arena. Empezando desde la parte inferior se tiene: capa de 15 cm de grosor de piedra de 8-10cm de diámetro, capa de 15cm de grosor de grava de río de 3-4cm de diámetro, capa de 15 cm de grava de 1-2 cm de diámetro, capa de 15 cm de grava de hasta 1 cm de diámetro, y capa de 60 cm de arena fina de 0,6-0.8 mm de diámetro, con coeficiente de uniformidad de 1,4.
 d) Área de cada filtro 2.7 * 2.9 m²

10.6 Dosificación

a) **Coagulante:** Solución sulfato de aluminio (SO₄)₃AL₂, alumbre 1%
 Tipo de dosificador: en seco volumétricos del tipo de tornillo giratorio
 Número: 1
 b) **Polímero:** Poliacrilamida catiónica 0.05%
 Tipo de dosificador: en seco volumétricos del tipo de tornillo giratorio

¹ Información provista por operadores de la PTAP de Nero

Número: 1

c) Regulador de pH: Mezcla de productos alcalinos (hidróxido de calcio generador de Na₂O 65% mínimo) pH 10.5 a 11.5

Tipo de dosificador: en seco volumétricos del tipo de tornillo giratorio

Número: 1

d) Cloro: líquido

Tipo de dosificador: inyección directa

Número: 1

E. OBSERVACIONES y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

1. Observaciones en las estructuras y su funcionamiento

En Anexo C, se presenta las irregularidades observadas en las estructuras de las unidades de la PTAP de Nero, y en el siguiente cuadro se presentan las condiciones actuales de las zonas del sedimentador.

5. Materiales y Métodos

5.1. Levantamiento topográfico

Dentro de las múltiples visitas realizadas a la PTAP de Nero, se levantó a detalle en planta y perfil todas las zonas del sedimentador, con el propósito de proporcionar un plano con las dimensiones y parámetros necesarios para evaluar las cámaras de sedimentación.

5.2. Ensayos

5.2.1. Ensayo en Campo

Se analizan las características de flujo en el sedimentador, pues de esto depende la eficiencia del funcionamiento hidráulico y además afecta al periodo de retención. Además, se debe seleccionar la metodología adecuada para la medición del tiempo de retención (CEPIS, 2005). El flujo en los sedimentadores puede ser discontinuo o continuo. Para el presente trabajo en la PTAP de Nero, el sedimentador de alta tasa debe trabajar con flujo continuo, predominando el flujo de pistón².

- **Ensayo de trazadores**

La determinación del tiempo de retención real se realizó mediante la inyección de una solución salina de manera instantánea en la entrada del sedimentador durante el escenario de operación normal y en el escenario de operación eventual de colmatación de los filtros.

Los datos de conductividad fueron tomados mediante una sonda de medición continua, colocada en el canal de salida del sedimentador (previo a los filtros), tomando como tiempo inicial el momento de vertido de la solución salina, y como tiempo final el pico de conductividad medido por la sonda.

² La CEPIS (2005b) indica que debe al menos cumplir con la relación largo/ancho mayor a 1, teniéndose $11/2.16 = 5.1$.

De esta manera se tiene que el tiempo de retención real para la operación normal es de 28.8 min y para la operación eventual de 24.3 min, esto se debe a que la colmatación de los filtros impide el flujo de agua adecuadamente y el calado de agua aumenta en el sedimentador. Los datos se exhiben en la Tabla 5.

Descripción	Operación normal	Operación eventual
Tiempo de retención teórico (<i>min</i>)	34.1	33.5
Tiempo de retención in situ (<i>min</i>)	28.8	24.3
Volumen (m^3)	139	141
Caudal (<i>l/s</i>)	68	69.9

Tabla 5 Tiempo de retención del sedimentador

5.2.2. Ensayos de laboratorio

Es importante tener en cuenta que para la realización de estos ensayos se tuvo que trasladar las muestras de agua cruda desde la PTAP de Nero hasta el Laboratorio de Sanitaria de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca, tomando en cuenta las condiciones para su conservación.

- **Prueba de sedimentación**

Para obtener la eficiencia de remoción de la turbiedad en el proceso de sedimentación y la velocidad de sedimentación de los flocúlos, se realizó una prueba de jarras en donde se aplicó la dosis óptima de los reactivos y durante la sedimentación, se tomaron las muestras por triplicado con la ayuda de los flotadores, reproduciendo las condiciones de funcionamiento actuales de la PTAP de Nero. La ficha técnica con los resultados de esta prueba se muestra en Anexo E.

De este ensayo, se toma un promedio de la turbiedad final de las muestras 1, 2 y 3, descartando valores mayores a la turbiedad inicial de 0.926 (causados por errores durante la toma de datos). La eficiencia se expresa como el porcentaje de remoción de la turbiedad final respecto a la inicial y se obtiene el gráfico 7.

Velocidad de sedimentación (<i>cm/s</i>)	Turbiedad residual (%)	Eficiencia de remoción (%)
0,267	79	21
0,133	66	33
0,089	65	34
0,067	70	30
0,044	67	33
0,033	61	39
0,027	77	23
0,022	64	35
0,017	68	31
0,013	66	34

Tabla 6 Eficiencia de remoción de la turbiedad en la evaluación

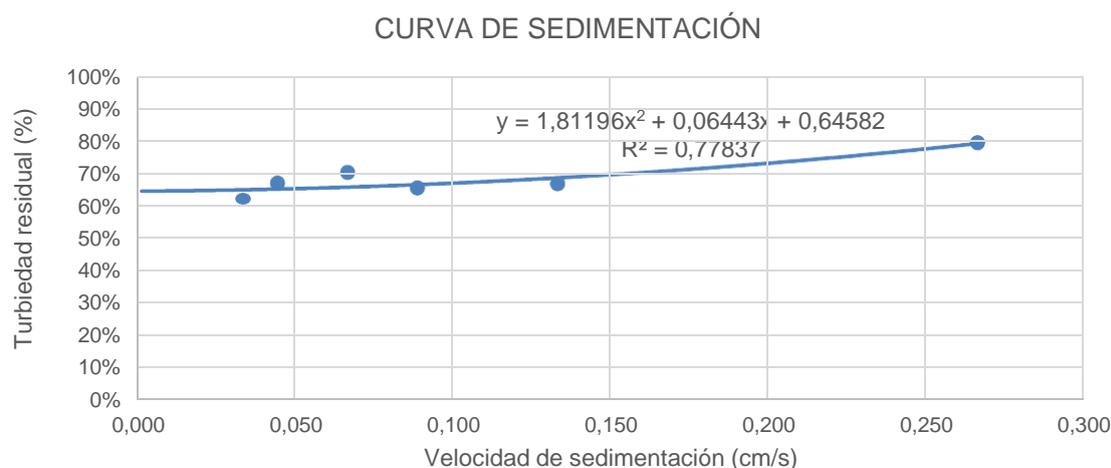


Gráfico 3 Curva de sedimentación en la evaluación

Se observa que la turbiedad residual va disminuyendo a medida que aumenta el tiempo, dando una turbiedad residual final de 0.66 a los 10 min de sedimentación, lo cual permite asegurar que la eficiencia del proceso de sedimentación medido en laboratorio es del 34%, lo cual es mucho menor a la eficiencia de 90 % que debería tener un sedimentador de alta tasa con módulos tubulares cuadrados de ABS que trabaja con una tasa de 120 a 180 m³/m²/día.

- **Tamaño de flóculo producido**

Al realizar la prueba de jarras reproduciendo en laboratorio las mismas condiciones de coagulación y floculación de la PTAP de Nero en su estado actual, se evaluó cualitativamente tamaño del flóculo formado, que se muestra en la siguiente Imagen 2.

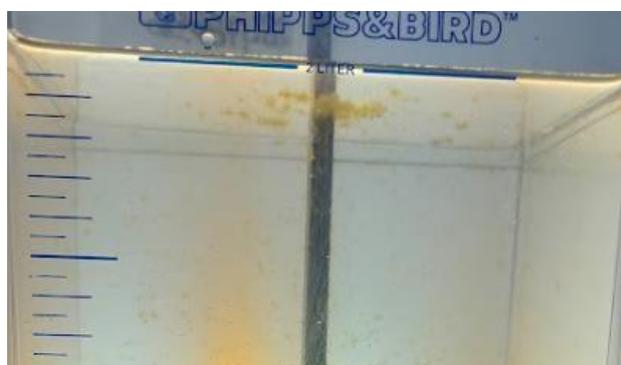


Imagen 2 Flóculos formados en la evaluación

Según el comparador del Water Research Association en la Ilustración 3, los flóculos formados corresponden al tipo C (0.75-1.0 mm), y según el índice de floculación de Willcomb Tabla 3, se tiene que el flóculo formado es número 4, lo cual representa un flóculo disperso, que es bien formado, pero no se distribuye uniformemente (CEPIS, 2005), pues se sedimenta muy

lentamente y existe una gran cantidad de ellos que no se sedimenta quedando en la superficie como sobrenadante o adherido a las paredes de la jarra. El 70% de los flocúlos sedimentaron alrededor de los 14 minutos.

El informe de Laboratorio de Sanitaria que presenta las condiciones de este ensayo se presenta en Anexos E.

- **Cantidad de lodos producido**

En la prueba de jarras realizada bajo las mismas condiciones de coagulación, floculación y sedimentación de la PTAP de Nero en su estado actual, se evaluó la formación del volumen de lodos producidos a las 24 horas de 2 litros de muestra, siendo el mismo de 1.8 cm como se observa en la Imagen 3.



Imagen 3 Lodos producidos en la evaluación

6. Resultados y discusión

6.1. Evaluación visual de las zonas de sedimentación

Evaluación del sedimentador

Unidad	Condición actual	Registro fotográfico
<p>Entrada al sedimentador</p>	<p>El hormigón de recubrimiento de las paredes de los canales de entrada se encuentra en muy buen estado en general. Se observaron una gran cantidad de flóculos sobrenadantes y remolinos en la compuerta de empate de floculador-sedimentador y en las compuertas de entrada a las cámaras de sedimentación. Además, es evidente un gran aumento de la velocidad del agua floculada en el orificio rectangular al fondo de los canales de distribución.</p>	 <p><i>Imagen 4 Entrada al sedimentador</i></p>
<p>Cámaras de sedimentación</p>	<p>El mantenimiento de las cámaras de sedimentación en la zona baja no se ha llevado a cabo debido a la falta de accesibilidad causada por las placas de sedimentación, por lo tanto, los tubos de PVC encargados de la distribución de agua, presentan obstrucciones representativas con materiales de construcción y elementos varios (ramas, saquillos, grandes rocas).</p> <p>Las paredes no exhiben pintura de protección, por lo que el hormigón presenta una capa de sedimentos y algas adheridas a sus poros e irregularidades.</p>	 <p><i>Imagen 5 Orificios de distribución en el canal triangular</i></p>
<p>Módulos de sedimentación rápida</p>	<p>Los módulos de sedimentación tubulares cuadrados presentan una pequeña deformación con respecto a sus dimensiones iniciales de la celda, siendo estas de dimensiones en promedio de 5,2x5,2 cm; sin embargo, la mayoría de las celdas se encuentran en muy buen estado, y no existen módulos rotos en ninguna de las cámaras de sedimentación. Además, al remover los módulos se observa una película de algas en la parte superior.</p>	 <p><i>Imagen 6 Módulos de sedimentación rápida</i></p>

Salida de agua sedimentada

El agua sedimentada que se encuentra sobre las tuberías perforadas de salida, posee una cantidad considerable de flóculos sobrenadantes, especialmente en la parte de las 5 flautas que están más cerca al canal de entrada. En cuanto a comparación de la cámara izquierda y derecha, se observa que la cámara izquierda tiene menos sobrenadantes que la cámara derecha. Por otro lado, las tuberías perforadas de salida, en sus extremos, funcionan como pasamuros hacia los canales de salida, y algunos tienen grietas en el hormigón alrededor de los tubos, lo que permite filtración de agua.

Además, se ha observado que las tuberías de salida de agua clara trabajan a sección de 60% en la salida de agua hacia los canales, y cuando los filtros están colmatados llegan a trabajar con una sección del 90%. Los canales de salida presentan moho en sus paredes, pero su funcionamiento es normal.



Imagen 7 Salida de agua sedimentada

Zona de lodos

Se observó que el piso por donde circulan los lodos después del lavado de las placas, queda limpio y todo el lodo se evacua eficientemente por las tuberías de desagüe. En el conducto triangular se queda retenida una pequeña capa de lodo que sedimenta (0.5 a 1 cm de alto) en la base, y es difícil lavar este canal por la imposibilidad del ingreso al mismo, ya que es muy largo y su entrada es pequeña.



Imagen 8 Sedimentos en orificios de canal triangular

6.2. Capacidad de hidráulica y de producción del sedimentador

Según el área de sedimentación de la PTAP de Nero que es 47,52 m² y a la tasa actuante de sedimentación de 128 m³/m²/día se tiene que el sedimentador de alta tasa está trabajando al 106%, habiendo sobrepasado ligeramente su capacidad pico³.

³ Según la Cepis, la cual plantea que el límite de operación para los sedimentadores de alta tasa es de 120 m³/m²/día.

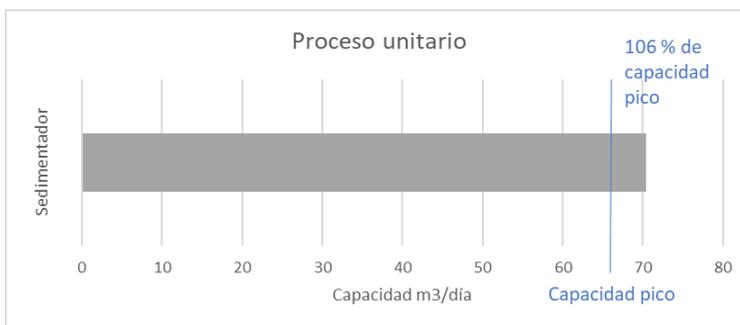


Gráfico 4 Capacidad actual del sedimentador de la PTAP de Nero

6.3. Capacidad de los procesos de amortiguar los picos de turbiedad y color

Con el fin de evaluar la capacidad de amortiguar los picos de turbiedad y color se realizó el análisis de los parámetros diarios de enero a diciembre del año 2022 medidos en la PTAP de Nero del agua cruda y del agua sedimentada. Las tablas de valores de los parámetros se presentan en anexo D.

En el Gráfico 5 se puede observar que el período en el que el agua cruda presenta mayor color, es de marzo a mayo; sin embargo, la reducción del color en el agua decantada es del 44% a lo largo del año.

Color agua cruda		
Máximo	438 UC	Marzo
Mínimo	8 UC	Diciembre

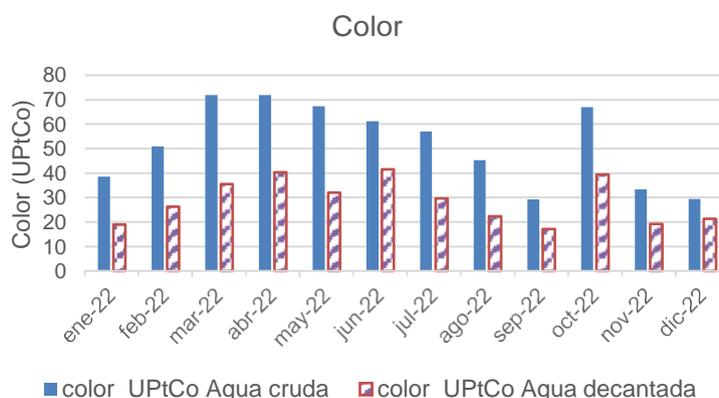


Gráfico 5 Color del agua cruda del 2022

En el Gráfico 4Gráfico 6 se puede ver que los meses en los que el agua cruda presenta turbiedades bajas que oscilan entre 1.2 y 1.6 NTU, sin presentar variaciones bruscas respecto a las épocas

de verano e invierno; sin embargo, el agua decantada presenta turbiedades significativamente mayores, especialmente en los meses de invierno en donde el agua decantada presenta una turbiedad el doble respecto a la turbiedad del agua cruda.

Turbiedad agua cruda		
Máximo	13,9 NTU	Mayo
Mínimo	0,7 NTU	Septiembre

Tabla 8 Turbiedad del agua cruda

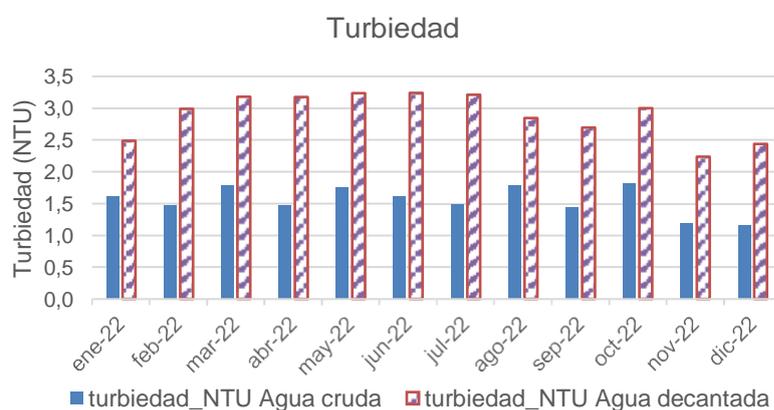


Gráfico 6 Turbiedad del agua cruda del 2022

En el Gráfico 7 se evidencia que los meses en los que el pH es más ácido, son de enero a marzo. A lo largo de todo el año el pH se reduce en el agua sedimentada.

pH agua cruda		
Máximo	8,7	Septiembre
Mínimo	6,3	Agosto

Tabla 9 pH del agua cruda

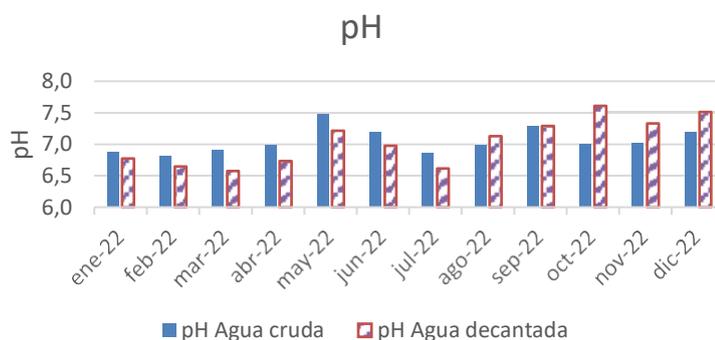


Gráfico 7 pH del agua cruda del 2022

6.4. Diagnóstico preliminar

La condición del agua a tratar es una de las más complicadas ya que presenta elevado color y baja turbidez, siendo aún menor la turbiedad en los periodos de estiaje dificultando la formación del flóculo. Sin embargo, no se cuentan con los registros necesarios para controlar estos parámetros a la salida del floculador y de esta manera poder evaluar la eficiencia a la salida del sedimentador, con la turbiedad residual.

Durante el proceso de coagulación, debido a falta de disolución de la sustancia coagulante, la dosificación se considera menor a la requerida para la turbiedad y color del agua cruda. Además, en la etapa de floculación, se observa retención y rompimiento de los flóculos por torbellinos producidos en las esquinas de los tabiques.

Durante la sedimentación se observan diferentes puntos de contracciones de flujo (compuertas y conducto de distribución), las cuales pueden causar rompimiento del flóculo. La zona posterior a las compuertas presenta problemas de estancamiento y remolinos de agua con gran cantidad de sobrenadante y espuma.

En la zona de salida de agua decantada se observa la presencia de flóculos sobrenadantes en la superficie de agua, siendo estos más notorios en la zona inicial de las cámaras de sedimentación, donde la mayor concentración de flóculos en un punto puede darse debido a corrientes de agua causadas/provocadas por fuertes vientos. La presencia de flóculos en el agua decantada tiene como consecuencia la saturación de los filtros aguas abajo, provocando mantenimientos más seguidos a lo largo del día, requiriendo retro lavado de cada filtro cada 12 horas, lo cual consume una gran cantidad de agua.

Debido a la falta de documentación de la PTAP Nero, se requiere de planos a detalle de las cámaras de sedimentación y ensayos con diferentes sustancias coagulantes que permitan obtener la mayor eficiencia posible.

Por lo tanto, para el análisis del sedimentador de la PTAP de Nero es necesario:

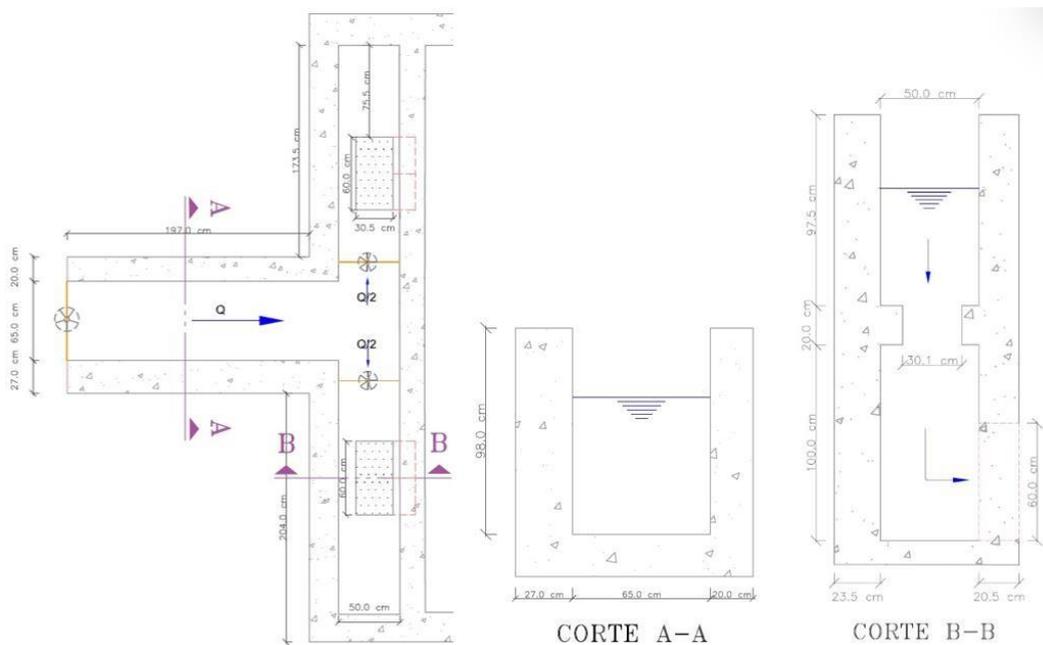
- a) Determinar la velocidad de sedimentación con la que trabaja actualmente el mismo, para determinar su capacidad, si está trabajando eficientemente y sus posibilidades de optimización.
- b) Determinar el tipo de flujo en el sedimentador mediante ensayo de trazadores.
- c) Evaluar a fondo el funcionamiento hidráulico de las zonas de entrada, sedimentación y salida del sedimentador.

- d) Inspeccionar el correcto funcionamiento de los elementos hidráulicos en las cámaras de sedimentación.

6.5. Funcionamiento del sedimentador de la PTAP de Nero

- **Entrada al Sedimentador**

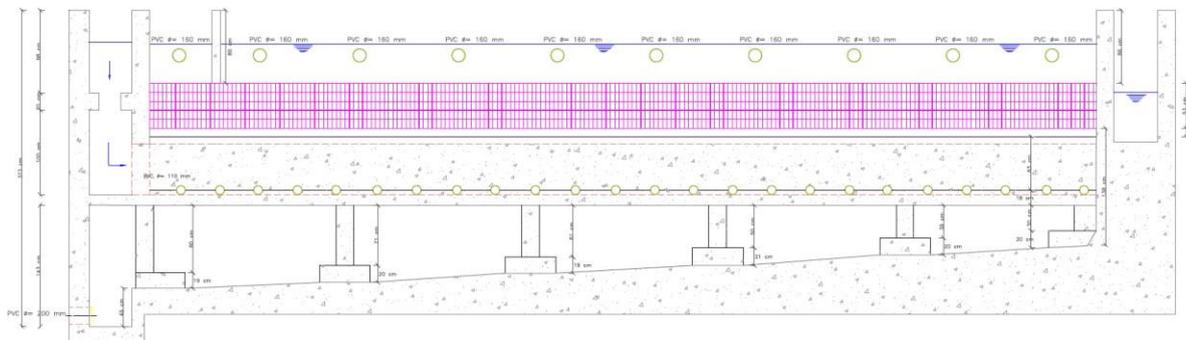
El canal de hormigón de conexión de floculador con el sedimentador cuenta con una compuerta metálica. Dicho canal se conecta a 2 compuertas metálicas aislantes para dividir el caudal entre las 2 cámaras de sedimentación. Tras las compuertas el flujo continúa a lo largo de un orificio en la base del canal, por el cual desciende hacia un conducto triangular que funciona como distribuidor bajo los módulos de sedimentación.



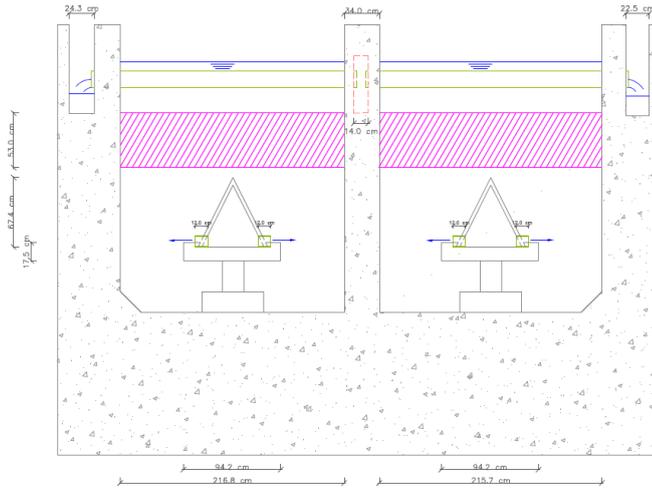
Esquema 1 Entrada al sedimentador

- **Cámaras de sedimentación**

El ingreso a cada cámara de sedimentación es a través de un conducto triangular (60x60 cm) con 24 orificios a cada lado, donde cada orificio posee una tubería de PVC 110 mm de 12 cm de largo que atraviesan la pared lateral del conducto.



Esquema 2 Cámaras de sedimentación



Esquema 3 Conducto triangular de distribución en la cámara de sedimentación

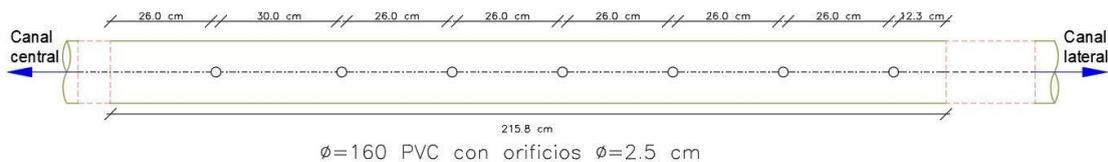
- **Salida de agua sedimentada**

La salida de agua clara se realiza a través de 10 tuberías de PVC de 160 mm transversales a la cámara de sedimentación, las cuales vierten a canales laterales y un canal central de salida. Los canales laterales poseen una pendiente longitudinal, siendo el canal izquierdo ($S_o=1\%$) y el canal derecho ($S_o=0.5\%$).

En operación normal las tuberías de salida trabajan a valores de y/D de 0.4, mientras que durante mantenimientos y colmatación del filtro las tuberías de evacuación trabajan hasta un y/D de 0.9.



Esquema 4 Vista en planta de la salida del agua sedimentada

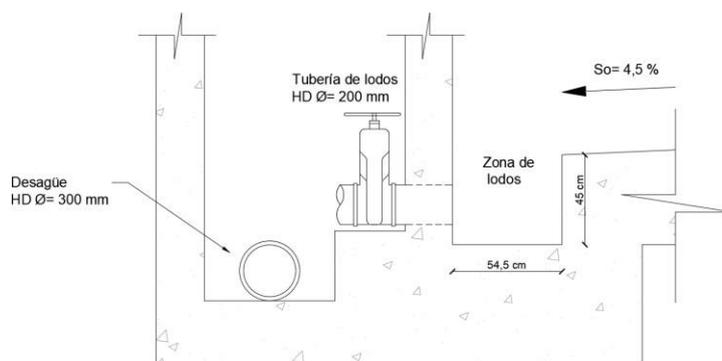


Esquema 5 Tubería de agua sedimentada

- **Zona de lodos**

Los flóculos sedimentados por efecto de la gravedad se acumulan en la parte inferior de la cámara de sedimentación y se depositan en la zona de lodos, la cual posee una tubería de 200 mm para su desalojo y mantenimiento.

La purga de lodos se realiza cada 2 días, procedimiento en el cual se evacúa el agua del sedimentador durante 2 minutos, sin embargo, no se conoce el volumen de lodo acumulado, solo se conoce que tiene un aspecto amarillento y la cantidad de lodos es mayor en el sedimentador derecho.



Esquema 6 Cajón y desagüe de lodos

6.6. Evaluación

6.6.1. Eficiencia de los sedimentadores

De los datos de turbiedad y color obtenidos a la salida del sedimentador de la PTAP de Nero se tiene que el 95% del tiempo la turbiedad es de 5.2 NTU y el color de 83.9 UC. En la Tabla 11, se puede observar que los valores de turbiedad del agua decantada son mayores a los del agua cruda, siendo evidente la deficiencia de sedimentación del floculo formado en el proceso de coagulación el cual no es lo suficientemente grande y pesado para ser removido en este sedimentador de alta tasa.

Parámetro	Agua Cruda	Agua Decantada	Agua Cruda	Agua Decantada
	Turbiedad (NTU)	Turbiedad (NTU)	Color (UC)	Color (UC)
Mínimo	0.65	0.67	8.00	0
Máximo	13.91	12.70	438.10	208
95%	2.73	5.20	150.10	83.90

Tabla 10 Turbiedad y color del agua cruda y sedimentada

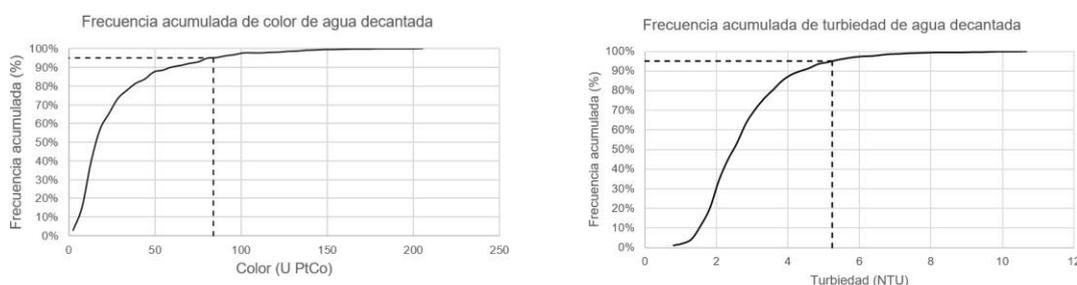


Gráfico 8 Turbiedad y color del agua cruda y sedimentada

A partir de estos resultados, se comprueba que el filtro rápido trabaja el 95% con una sobrecarga, ya que, según la CEPIS, el agua decantada debería tener una turbiedad menor a 2 NTU, para no saturar los filtros. Además, el color es removido en aproximadamente un 40% en el sedimentador, siendo una tasa baja de remoción para este parámetro, es por estas razones que los filtros requieren ser lavados cada 12 horas (CEPIS, 2005).

Por último, tomando en cuenta el cuadro de clasificación en función de la calidad del agua producida por los sedimentadores Tabla 11, el agua decantada de la PTAP de Nero es muy buena el 95% del tiempo de producción.

Eficiencia	Turbiedad del agua decantada (UNI)
Excelente	< 5
Muy buena	5 - 10
Buena	10 - 15
Regular	> 15

Tabla 11 Clasificación en función de la calidad del agua producida

6.6.2. Geometría de la unidad de sedimentación

El proceso de sedimentación en la PTAP de Nero, se lleva a cabo en 2 cámaras de sedimentación de alta tasa. Las dimensiones utilizadas para la evaluación hidráulica se presentan en las tablas 13, 14 y 15.

- **Cámara de sedimentación**

Descripción	Símbolo	Valor	Unidad
Longitud de cámara	L	11.0	[m]
Ancho de cada cámara	B	2.16	[m]
Área horizontal de cámara	A_H	23.98	[m ²]
Número de cámaras		2	[-]

Tabla 12 Geometría de la cámara de sedimentación

- **Módulos de placas tubulares de celdas cuadradas**

En la cámara de sedimentación se tiene módulos de ABS tubulares cuadrados colocados transversalmente con flujo ascendente en dos sentidos.

Descripción	Símbolo	Valor	Unidad
Ángulo de la placa	α	60	°
Longitud vertical de placa	l'	0.53	m
Longitud inclinada de la placa	l	0.61	m
Número de hileras por cámara	n	211	–
Número de celdas cuadradas por hilera	m	36	–
Número de celdas cuadradas por cámara		7691	–
Espesor de placa	e_p	0.7	mm
Espaciamiento horizontal de celda cuadrada	e_{ph}	6	cm
Ancho de placa	B_p	2.16	m

Tabla 13 Geometría de los módulos tubulares de celdas cuadradas

- **Evacuación de agua clara**

Descripción	Símbolo	Valor	Unidad
Tubería de salida agua clara por cámara		10	–
Diámetro de tubería de salida	D_s	160	mm
Número de orificios por tubería de salida		7	–
Diámetro de orificio		25	mm

Tabla 14 Geometría de la evacuación del agua clara

No hay registro de los planos de diseño, ni de los planos constructivos del sedimentador. Por ello en plano se presenta las dimensiones de la estructura del sedimentador respecto a planos provistos por la Junta Administradora de Agua del Proyecto Nero (2007) que no cuentan con la parte baja de los módulos de sedimentación y zona de lodos.

6.6.3. Caudal de operación

La PTAP de Nero fue diseñada para caudales de 60 l/s, pero a lo largo de su vida útil se realizaron cambios para satisfacer la alta demanda. Para la evaluación hidráulica se establecen 3 tipos de caudales de operación, principalmente un caudal de operación normal⁴ 70 l/s con el cual la PTAP funciona el 95% del tiempo, y alternadamente caudales de operación eventual⁵ los cuales se dan dos casos: estiaje 60 l/s e invierno 74 l/s.

6.6.4. Zona de entrada

La evaluación de la zona de entrada comprende la división de caudales que se da a cada una de las 2 cámaras de sedimentación por las compuertas de aislamiento. Considerando que las dos cámaras de sedimentación tienen iguales dimensiones y funcionamiento el caudal total de ingreso debería dividirse a la mitad para cada cámara. Durante escenarios de operación normal del sedimentador se realizaron mediciones in situ de las aberturas de las compuertas de aislamiento para calcular el porcentaje de división del caudal total de entrada a la cámara izquierda y a la cámara derecha.

⁴ La operación normal se da cuando la planta está trabajando con el caudal para el que fue proyectada la PTAP con la calidad de agua requerida. En esta operación se realizan actividades rutinarias como la medición de caudal, medición de parámetros de calidad, preparación de productos químicos, dosificaciones, limpieza y control de calidad, entre otras. Se considera operación normal mientras no se tenga ninguna suspensión en el tratamiento de agua en la PTAP. (CEPIS, 2005a)

⁵ La operación eventual de la PTAP se da cuando se realizan los mantenimientos o se produce daños menores o cortes de energía eléctrica, durante poco tiempo. (CEPIS, 2005b)

Descripción	Caso 1		Caso 2		Caso 3	
	Izquierda	Derecha	Izquierda	Derecha	Izquierda	Derecha
Calado previo a compuerta (m)	60.5	60.5	63	63	60.5	60.5
Apertura de compuerta (cm)	13.5	16	15.5	18.5	14.5	18
Calado tras la compuerta (cm)	59	57.5	60.5	61.5	58.5	59
Caudal de entrada a cada cámara (l/s)	30.2	27.6	35.4	32.5	32.5	31
Distribución de caudal por cámara	52.3%	47.7%	52.1%	47.9%	51.2%	48.8%
Caudal total de ingreso al sedimentador (l/s)	57.8		67.9		63.4	

Tabla 15 Distribución de caudales en cada cámara de sedimentación

Debido a las diferentes aperturas en las compuertas laterales, se observa una diferencia en la distribución de caudales en cada cámara de sedimentación, por lo que se toma un promedio de los resultados, teniendo así una distribución de 52% en la cámara de sedimentación izquierda y 48% para la cámara de sedimentación derecha. Siendo esta una diferencia poco significativa en la distribución de caudal por lo que para la evaluación se toma una distribución del 50% para cada compuerta.

Los valores de los gradientes de velocidad en las compuertas aislantes poseen velocidades muy altas debido a una apertura muy pequeña, lo que causa rompimiento de los flóculos previo al proceso de sedimentación, esto puede observarse en la Tabla 17.

Gradiente	Caudal (l/s)		
	60	70	74
Floculador (mezcla lenta)	36.9	37.7	39.0
Compuerta empate floculador-sedimentador	24.8	31.3	34.0
Compuerta aislante de entrada izquierda	65.1	73.5	89.2
Compuerta aislante de entrada derecha	46.27	52.2	63.4

Tabla 16 Gradientes de compuertas en la zona de entrada del sedimentador

En base a la tabla de distribución de caudales y a las observaciones realizadas en campo, se observa que la cámara izquierda posee una mayor cantidad de flóculos sobrenadantes que no sedimentan, pues se rompieron al momento de ingresar a la cámara izquierda por el mayor gradiente producido en la compuerta de aislamiento izquierda.

6.6.5. Conducto de distribución de agua floculada

Para la evaluación de la distribución del agua floculada hacia cada cámara se considera el caso de funcionamiento de 1 sola cámara de sedimentación con un caudal de operación normal, y eventuales (60,70 y 74 L/s) distribuido un 50% hacia la cámara de análisis.

El orificio rectangular de entrada previo al conducto de distribución de agua bajo las placas se considera como una contracción sumergida brusca, esto causa una mayor disipación de energía, provocando un elevado gradiente de velocidad. A su vez, el conducto de distribución y sus orificios laterales presentan gradientes de velocidad superiores a 15 s^{-1} , recomendados por la CEPIS (2005).

Gradiente (s^{-1})	Caudal (l/s)		
	60	70	74
Floculador (mezcla lenta)	36.9	37.7	39.0
Gradiente de orificio de entrada a sedimentador	46.3	58.1	61.8
Gradiente de conducto triangular	12.7	16	17.4
Gradiente de orificios de conducto triangular	15.3	19.3	21

Tabla 17 Gradientes del conducto de distribución del agua floculada

6.6.6. Zona de sedimentación

La Tabla 19 muestra que los valores de carga superficial de las cámaras de sedimentación son menores a los recomendados $180 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$, estos valores pueden favorecer la sedimentación, ya que la velocidad de sedimentación requerida para esta fuente de agua es muy baja. Además, la configuración de módulos tubulares cuadrados garantiza un flujo laminar para el caudal de operación normal y eventual pues el número de Reynolds es menor a 250 y a su vez la velocidad de sedimentación está en el rango permitido 0.6m/h a 2 m/h.

Descripción	Símbolo	Valor			Unidad
Caudal operación	Q	60	70	74	l/s
Carga superficial	C_s	110	128	135	$\text{m}^3/\text{m}^2/\text{día}$
Velocidad promedio de flujo	V_o	129	150.5	159.1	m/día
		0.15	0.18	0.18	cm/s
Reynolds	Re	59.4	69.3	73.3	-
Velocidad de sedimentación	w_s	0.03	0.04	0.04	cm/s
		1.16	1.37	1.45	m/h

Tabla 18 Parámetros hidráulicos de la zona de sedimentación en la evaluación

6.6.7. Eficiencia de velocidad de sedimentación

El Gráfico 9 muestra una reducción de la turbiedad de hasta un 34.86%, siendo estos valores poco eficientes para sedimentadores de alta tasa (remoción del 90%). Además, se observa como velocidades bajas no aumentan significativamente la eficiencia en la sedimentación.

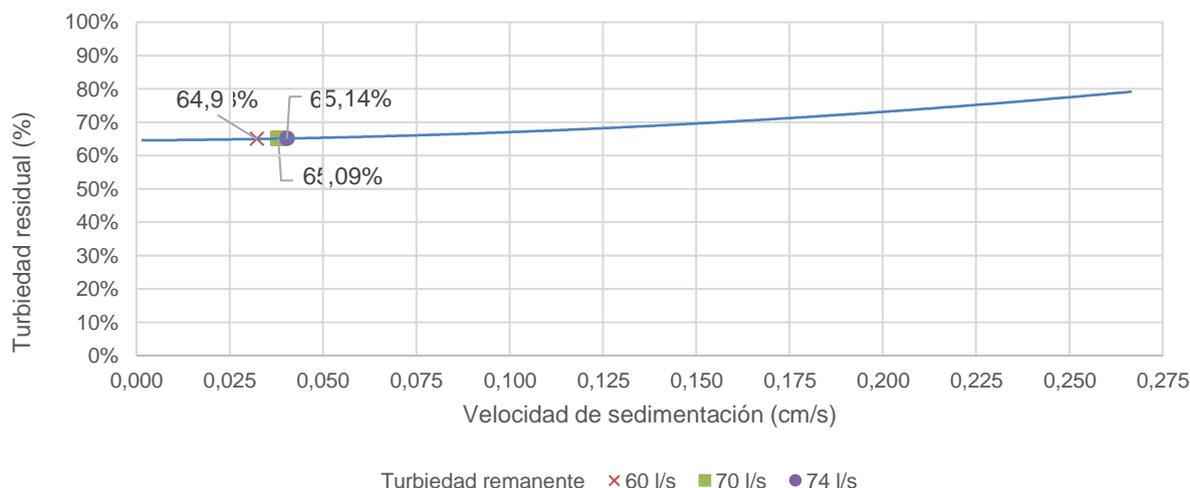


Gráfico 9 Porcentaje de turbiedad residual en la evaluación

6.6.8. Zona de salida

Para la salida del agua decantada a través de las tuberías perforadas, cuando este trabaja a sección llena, los caudales para operación eventual requieren de tuberías de mayor diámetro ya que el diámetro actual es de 160 mm y para el escenario de caudal máximo de 74 l/s el diámetro mínimo cumple con un margen mínimo menor a este. Los escenarios en los cuales las tuberías trabajan a sección llena ocurren durante cuando los filtros se saturan y durante el mantenimiento de los mismos.

Descripción	Símbolo	Valor	Unidad
Caudal por tubería de salida (teórica)	q_s	3.0 3.5 3.7	l/s
Carga sobre la tubería de salida	h_c	0.07 0.09 0.12	m
Caudal por tubería de salida	q_s	2.5 2.75 3.37	l/s
Caudal por orificio	$q_{orif s}$	0.36 0.39 0.48	l/s
Velocidad de orificio	V_o	0.07 0.08 0.10	cm/s
Diámetro mínimo de la tubería	$D_{mín}$	134 141 151	mm

Tabla 19 Parámetros en la evaluación de la salida de agua clara

6.6.9. Análisis de flujo y tiempo de retención

A partir del ensayo de trazadores también se realiza el análisis hidráulico de flujo en el sedimentador usando para su interpretación el modelo matemático de Wolf y Resnick, en el cual se analiza el porcentaje de trazador que se permanece en el sedimentador a lo largo del ensayo. (CEPIS, 2005)

- **Modelo simplificado: Wolf y Resnick**

El flujo mayoritario en los dos escenarios de operación del sedimentador evaluado son de tipo pistón de 78% y 75%, por lo que se considera un tipo de flujo adecuado, ya que según CEPIS establece un mínimo de un 60% de flujo tipo pistón para el funcionamiento correcto de sedimentación (CEPIS, 2005).⁶

Descripción	Símbolo	Operación normal	Operación eventual
Zona de pistón	<i>p</i>	78%	75%
Zona muerta	<i>m</i>	23%	20%
Zona mezclada	<i>M</i>	22%	25%

Tabla 20 Tipos de flujo en la evaluación de las zonas del sedimentador

- **Análisis de la curva de tendencia de concentración del trazador**

En el ensayo de trazadores, se mide la conductividad en cada tiempo; con los datos se obtiene la curva del Gráfico 10 y Gráfico 11.

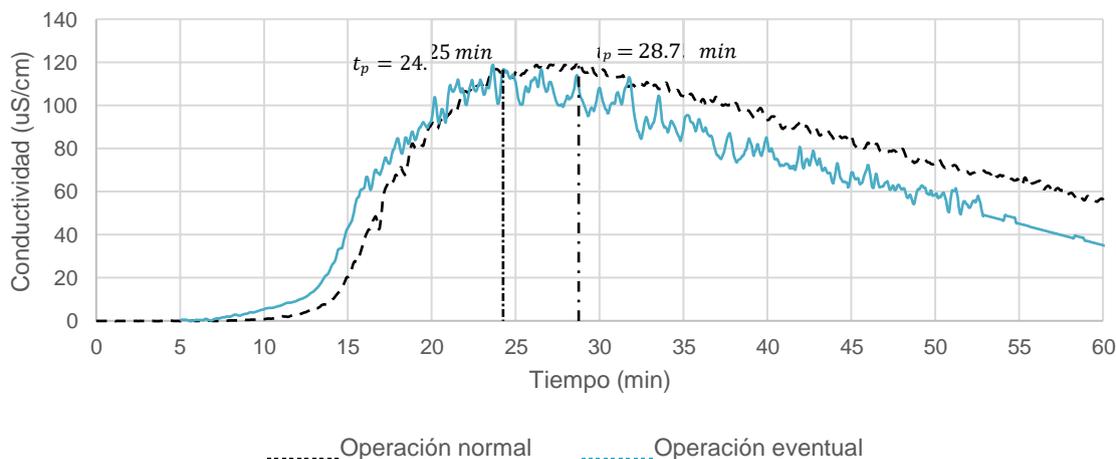


Gráfico 10 Conductividad vs tiempo del ensayo de trazadores

⁶ El intervalo de toma de datos de conductividad fue cada 5 segundos.

Los parámetros determinados a través del Gráfico 10 permite obtener los parámetros y el análisis del flujo en el sedimentador, como se muestran en la Tabla 22. Los criterios y las condiciones hidráulicas se encuentran en la Tabla 21.

Descripción	Símbolo	Operación normal	Operación eventual	Unidad
Tiempo inicial	t_i	7.6	5.0	min
Tiempo modal	t_p	28.8	24.3	min
Tiempo medio	t_m	38.6	34.1	min
Tiempo residencia	t_c	46.1	41.5	min
Tiempo final	t_f	88.4	76.9	min

Tabla 21 Criterios y condiciones hidráulicas de la curva de conductividad

Criterio	Valor	Observación
t_i/t_o	0.2	Indica la presencia paso directo entre la entrada y salida (cortocircuitos)
t_m/t_o	1.1	Valores mayores a la unidad indican presencia de espacios muertos
t_p/t_o	0.8	Predominio de flujo pistón
t_c/t_o	1.3	Presencia de flujo estable ideal
$\frac{(t_f - t_p) - (t_p - t_i)}{t_o}$	1.1	Presencia de flujo de pistón y mezclado ideal

Tabla 22 Parámetros del análisis del flujo en el sedimentador

El sedimentador tiene un comportamiento hidráulico poco óptimo, ya que existe presencia de zonas muertas, siendo el tiempo medio superior al tiempo de retención teórico. Además, se nota la presencia de cortocircuitos debido a que el trazador llega en un tiempo inferior al 30% del tiempo teórico.

A través de la curva de tendencia de la conductividad con respecto al tiempo se puede determinar los tipos de flujo como se observa en el Gráfico 4Gráfico 11, siendo notorio una presencia dominante de flujo dual y presencia baja de flujo puramente de pistón.

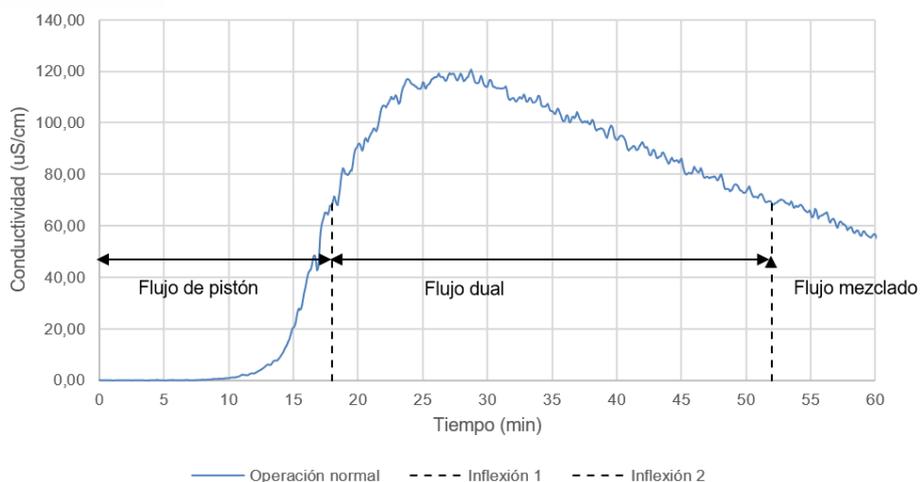


Gráfico 11 Tipos de flujo de la prueba de trazadores

6.7. Propuesta de Rediseño con las condiciones actuales

La optimización y mejora en el proceso de sedimentación se realizó a través de las recomendaciones de diseño Jairo Romero (1999) y del análisis de las condiciones actuales del sedimentador de la PTAP de Nero.

6.7.1. Zona de entrada

Para reducir la ruptura del floculo producido en la entrada se requiere que las compuertas y orificios de entrada presenten velocidades bajas y gradientes decrecientes respecto a la salida del floculador, por lo que se propone un aumento en el área de flujo previo a la zona de sedimentación. La Tabla 23 presenta valores de las gradientes para compuertas con apertura de 45cm para la compuerta aislante del floculador-sedimentador y 35 cm para las compuertas laterales.

Gradiente	Caudal (l/s)		
	60	70	74
Floculador (mezcla lenta)	36.9	37.7	39.0
Compuerta empate floculador-sedimentador	15.8	19.9	21.6
Compuerta lateral de entrada izquierda	13.7	17.2	18.7
Compuerta lateral de entrada derecha	13.7	17.2	18.7
Orificio de entrada a nivel bajo	23.8	26.9	32.7 ⁷

Tabla 23 Gradientes en el rediseño en zona de entrada

⁷ Valores en el orificio de entrada menores a gradientes de floculador, pero superiores a valores recomendados por la CEPIS (CEPIS, 2005).

El orificio de entrada al nivel bajo de las cámaras de sedimentación forma parte de la estructura del canal de entrada, por lo que su expansión es limitada. Para esta propuesta de rediseño se modifica el área anterior que era de 30*60cm a 30*70cm.

6.7.2. Zona de sedimentación

Para obtener flóculos de mayor peso y, por lo tanto, mayor sedimentación se considera el uso de Policloruro de Aluminio (PAC) sustancia coagulante en dosis óptimas (30 ppm), siendo este capaz de generar menor cantidad de flóculos livianos flotantes. El Gráfico 12 muestra que para la velocidad de sedimentación actual de 0.04 cm/s el PAC produce un incremento de turbidez residual 375.5% para las condiciones actuales de la planta.

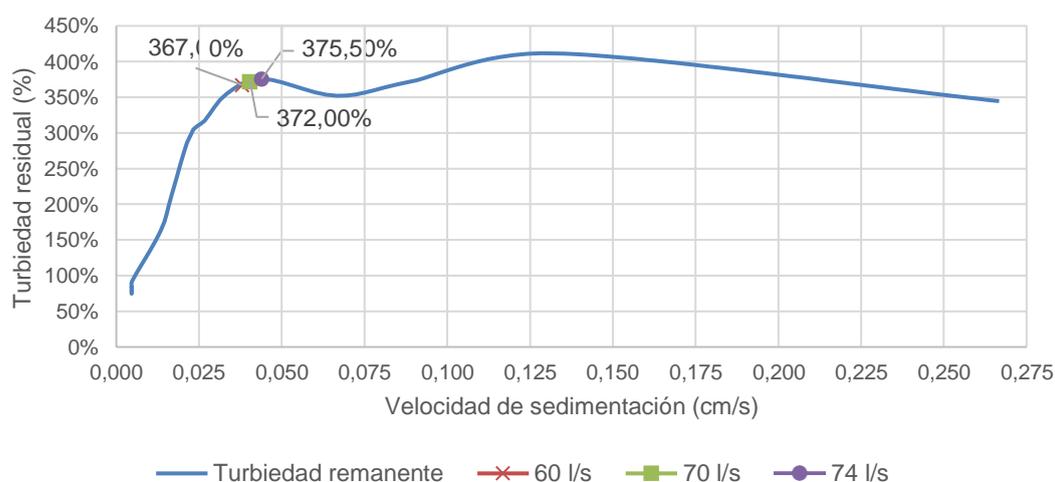


Gráfico 12 Porcentaje de turbiedad residual en el rediseño

6.8. Caracterización de parámetros hidráulicos para nuevos escenarios de funcionamiento

Debido al crecimiento de la población que requiere el servicio de agua potable en la actualidad y a futuro, se requiere considerar un aumento del caudal de la PTAR de Nero para satisfacer la demanda. Por lo tanto, se calculan los parámetros hidráulicos pertinentes para caudales de 80, 85 y 90 l/s.

6.8.1. Zona de entrada

Se consideran una distribución uniforme a cada cámara de sedimentación, con una apertura de compuertas de 45 cm para la compuerta de empate floculador-sedimentador y de 25 cm para las compuertas aislamiento de cada cámara.

Gradiente (s^{-1})	Caudal (l/s)		
	80	85	90
Floculador (mezcla lenta)	39,3	39,9	40,4
Compuerta empate floculador-sedimentador	24,3	26,6	29,0
Compuerta aislante de entrada izquierda	38,8	42,5	46,3
Compuerta aislante de entrada derecha	38,8	42,5	46,3

Tabla 24 Gradientes de la zona de entrada de los nuevos escenarios de funcionamiento

Los gradientes para las compuertas son menores a los gradientes calculados para la zona de floculación lenta, pero estos son superiores a $20 s^{-1}$, al valor recomendado por la CEPIS, para lo cual la apertura de las compuertas laterales debe ser de 0.36, 0.38 y 0.40 cm para los caudales 80, 85 y 90 l/s, respectivamente. (CEPIS, 2005)

6.8.2. Conducto de distribución de agua floculada

Considerando la expansión del orificio de entrada al sedimentador (70cmx30cm), en la Tabla 25 se muestra que valores de gradientes recomendados no se admiten para caudales de 80 a 90 l/s ya que los gradientes orificio de entrada a sedimentador oscilan entre $49 s^{-1}$ y $56 s^{-1}$, siendo en todos estos casos mayores a la salida del floculador, el cual para 80 l/s es de $40 s^{-1}$.

Gradiente (s^{-1})	Caudal (l/s)		
	80	85	90
Compuerta empate floculador-sedimentador	49.5	53.2	56.3
Compuerta aislante de entrada izquierda	19.6	21.4	23.3
Compuerta aislante de entrada derecha	23,6	25,8	28,1

Tabla 25 Gradientes de la zona de distribución de los nuevos escenarios de funcionamiento

6.8.3. Zona de sedimentación

Para estos nuevos escenarios de funcionamiento la Tabla 26 muestra que se cumplen los valores requeridos de flujo laminar (Reynolds menor a 250) y están dentro de los rangos de carga superficial ($120 m^3/m^2/día$) recomendado por la CEPIS. Además, a medida que se aumenta el caudal las velocidades de sedimentación también incrementan, por lo que,

partículas de menor tamaño no serán capaces de sedimentarse. Sin embargo, las velocidades de sedimentación están en el rango permitido 0.6m/h a 2 m/h. (CEPIS, 2005)

Descripción	Símbolo	Valor	Unidad		
Caudal de llegada	Q	80	85	90	
Carga superficial	C_s	146	155	164	$m^3/m^2/día$
Velocidad de flujo entre lá placas		171,7	182,5	193,2	$m/día$
Reynolds	Re	0,20	0,21	0,22	cm/s
Velocidad de sedimentación		79,1	84,0	89,0	–
		0,044	0,047	0,050	cm/s
		1,58	1,68	1,79	m/h

Tabla 26 Parámetros hidráulicos en la zona de sedimentación para los nuevos escenarios de funcionamiento

6.8.4. Zona de salida

Las tuberías de salida requieren que se coloquen de tal manera que mantengan una carga hidráulica de 5 a 10 cm, la Tabla 27, muestra el diseño de las tuberías de salida de agua decantada para el mayor caudal (90 l/s), para lo cual se requiere de 10 tuberías de 200 mm, con 8 orificios a lo largo de esta con un diámetro de 30 mm.

Descripción	Símbolo	Valor	Unidad
Caudal por tubería de salida (teórica)	q_s	4,5	l/s
Carga sobre la tubería de salida	h_c	0,1	m
Coeficiente de velocidad en el orificio	C_d	0,64	-
Diámetro teórico en el orificio		28	mm
Diámetro constructivo asumido de los orificios de salida		30	mm
Caudal por tubería de salida	Q_t	5.1	l/s
Caudal por orificio	Q_o	0.63	l/s
Velocidad de orificio	V_o	0,001	m/s
		0,090	cm/s
Diámetro mínimo de la tubería	D	178	mm
Diámetro de la tubería de salida	D	200	mm

Tabla 27 Parámetros hidráulicos en la zona de salida para los nuevos escenarios de funcionamiento

Para escenarios futuros, el incremento de caudal causa un aumento en los calados en el canal de entrada, por lo que se requiere un aumento de 20 cm las paredes del mismo para caudales de 80 l/s y de 30 cm para 90l/s; para todas las zonas del sedimentador.

6.8.5. Ensayos de laboratorio para nuevos escenarios de funcionamiento

Con el propósito de realizar una propuesta de rediseño se ha analizado la sedimentación con nuevos gradientes, tiempos de floculación y químicos diferentes a los de la condición actual de la PTAP de Nero, pero igualmente factibles.

- **Prueba de sedimentación**

Al utilizar el Policloruro de Aluminio Tipo A aumenta la turbiedad debido a que el proceso de floculación es más eficiente, más aglomeración de partículas, pero de bajo peso específico.

- **Tamaño de flóculo producido**

Al realizar la prueba de jarras, se evaluó cualitativamente el tamaño del flóculo formado con el Policloruro de Aluminio Tipo A, que se muestra en la Imagen 9.

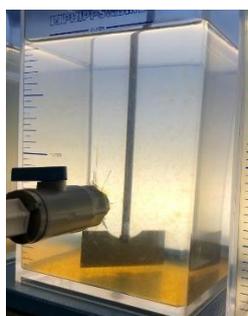


Imagen 9 Flóculos formados en el rediseño

Según el comparador del Water Research Association en la Ilustración 3, los flóculos formados corresponden al tipo D (1.0-1.5 mm).

Según el índice de floculación de Willcomb de la Tabla 3, se tiene que el flóculo formado es número 6, lo cual representa un flóculo disperso, claro, de tamaño relativamente grande pero que precipita con lentitud (CEPIS, 2005). El 80% de los flóculos sedimentaron alrededor de los 3 minutos, sin sobrenadante. El informe del Laboratorio de Sanitaria de la Universidad de Cuenca que presenta las condiciones de este ensayo se presenta en Anexo F.

- **Cantidad de lodos producido**

El volumen de lodos producido en el ensayo del anexo F a las 24 horas de 2 litros de muestra, es de 15 cm como se observa en la Imagen 10.



Imagen 10 Lodos producidos en el rediseño

7. Conclusiones y recomendaciones

Durante la evaluación de la PTAP de Nero, se evidenció algunas inconsistencias en las mediciones realizadas con los equipos de la Planta, de tal manera que los registros de caudal, pH, color y turbiedad son relativos; por lo que se sugiere una revisión y mantenimiento periódico de los instrumentos de laboratorio y medidores de caudal.

La falta de mantenimiento en la zona baja del sedimentador causa obstrucciones y altera el comportamiento de flujo ideal de pistón provocando ruptura de los flóculos, por lo que es necesario la remoción de placas en la zona inicial (74 cm) que permita el acceso a la zona baja y los mantenimientos mensuales. Además, para evitar daños a la estructura se requiere de limpieza de las paredes y aplicación de pintura impermeabilizante.

Las cámaras de sedimentación presentan problemas en la entrada a la zona de sedimentación, siendo la más notoria el orificio de entrada en la base del canal de entrada, siendo este difícil de expandir, debido a que sus paredes separan la zona de entrada y la zona de lodos, como es presentado en el Esquema 1. Por lo tanto, el flujo será restringido causando velocidades altas y a su vez gradientes superiores a los recomendados (Tabla 17, Tabla 24).

Por la naturaleza del agua cruda, con fuerte predominio de color sobre la turbiedad, el flóculo formado con el actual coagulante, es liviano y de baja velocidad de sedimentación, dando solo un 36% de remoción de turbiedad dentro del sedimentador; por lo que se recomienda ensayar otros coagulantes que permitan flóculos de mejores características de sedimentabilidad, que favorezca el proceso de filtración; al momento la mayor parte de los flóculos son retenidos en los filtros, acortando la carrera de filtración (lavados de 2 a 6 veces por día).

Los ensayos realizados con PAC muestran un significativo aumento en la producción de lodos de hasta 10 veces más comparado con el coagulante actual, lo que significa la formación de flóculos más pesados. Se demuestra en los ensayos que las dosis óptimas son mayores para condiciones de agua cruda básica y reducida para condiciones ácidas; por lo cual hay que controlar este parámetro, para evitar consumos excesivos de coagulante.

Se recomienda hacer ensayos en el agua de lavado de los filtros midiendo la turbiedad; es posible que los volúmenes finales de esta operación, produzca agua que puede volver a la cabecera de la planta, optimizando el gasto del líquido, que ya al momento es escaso.

Se recomienda ensayar el proceso de filtración directa; si en las actuales condiciones el sedimentador no tiene función significativa, trasladando todo el flóc a los filtros, entonces la filtración directa, puede ser una opción.

Se recomienda revisar la gradiente de velocidad en los dispositivos de paso del floculador al sedimentador, que, de acuerdo a las normas, no debe ser mayor a 20 seg^{-1} , para no romper el flóculo que de por sí, es muy frágil.

Si no es posible ninguna modificación en la estructura de la planta; una opción para mejorar las condiciones de sedimentabilidad es ensayar diferentes combinaciones de coagulantes, con polímeros y rangos de pH, que permitan una mayor remoción del color y mejores condiciones de sedimentabilidad. Cada agua tiene un comportamiento químico específico y por lo tanto una respuesta diferente a la acción de los productos químicos usados en el tratamiento.

Es necesario una mayor implementación en el laboratorio de control de calidad del agua, así como llevar registros de datos de color y turbiedad a la salida de cada unidad, que permita observar la eficiencia de cada una de ellas y por lo tanto las acciones correctivas que pudieran implementarse.

Para la correcta dosificación y elección adecuada de coagulantes y tratamientos para las fuentes de agua cruda de la PTAP de Nero, es necesario conocer la naturaleza química de la misma, para así llegar a mejores tratamientos en la remoción de turbiedad y color. Por lo que se recomienda hacer estudios sobre los componentes del color del agua cruda que la PTAP de Nero trata.

La producción de lodo durante la decantación y la efectividad de los procesos posteriores a la sedimentación se relacionan a las condiciones de flujo en las cámaras de sedimentación, es por ello que se necesita verificar los volúmenes de lodos a la salida a lo largo del tiempo para así determinar una correcta eficiencia de sedimentación con las dosis de coagulantes aplicados.

8. Referencias

Arboleada, J. (2000). *Diseño de sedimentadores*. Colombia: NOMOS S.A. .

CEPIS. (1992). *MANUAL II: Criterios de Selección*.

CEPIS. (2005). *Manual III: Evaluación de plantas de tecnología apropiada*. Lima.

CEPIS. (2005). *Manual IV: Operación, mantenimiento y control de calidad*. Lima.

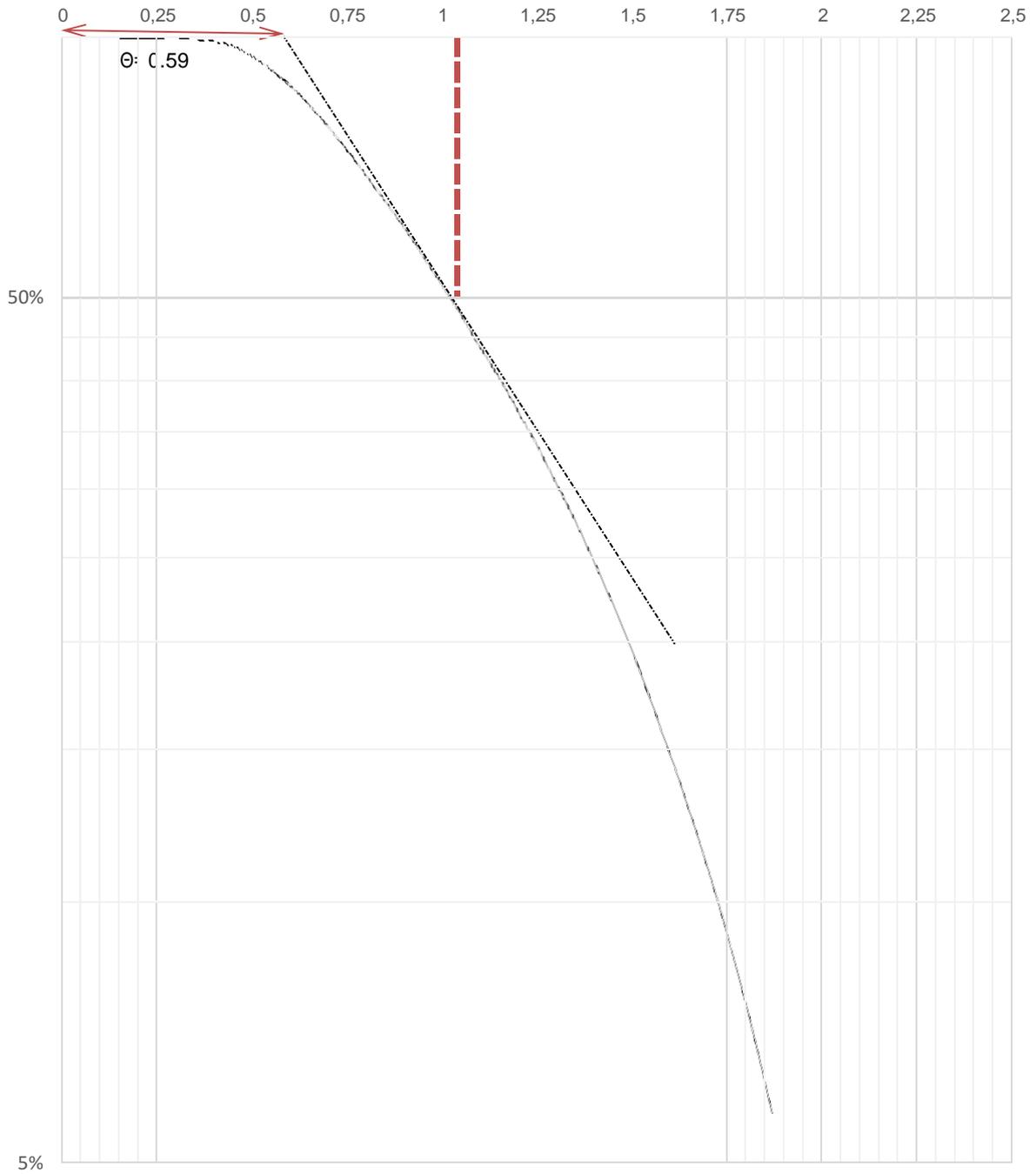
Crittenden, J., Trussell, R., Hand, D., Howe, K., & Tchobanoglous, G. (2012). *MWH's Water Treatment: Principles and Design*. Hoboken: Jhon Wiley & sons, inc.

Pedocchi, F., & Piedra-Cueva, I. (2005). Camp and Stein's velocity gradient formalization. *Journal of Environmental Engineering*, 131, 1369-1376.

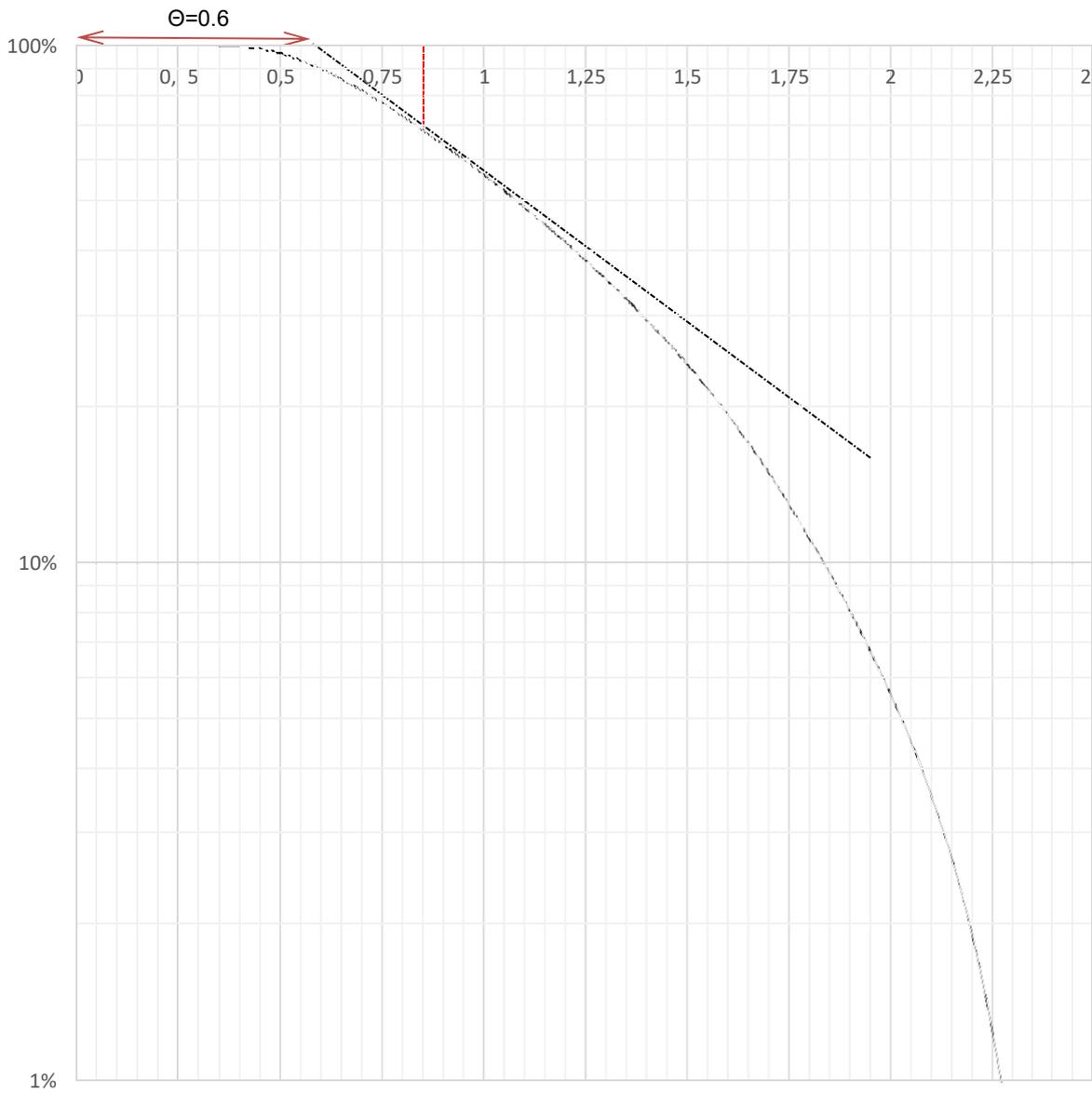
Romero, J. (1999). *Sedimentación en Potabilización del agua*. México: Alfaomega.

9. Anexos

Anexo A: Análisis simplificado de Wolf y Resnick para operación normal



Anexo B: Análisis simplificado de Wolf y Resnick para operación eventual



Anexo C: Ficha técnica de los químicos utilizados en la PTAP de Nero

EMAAP Quito ISO 9001	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE POLÍMERO	REVISION	N.- 00
		FECHA	2010/01/13
		HQJA	1 de 2
<p>1. Uso: Como ayudante de floculación en proceso de Tratamiento de agua Potable Tipo: <u>Catiónico</u> o aniónico. Presentación: Granulado de grano fino Contenido de monómero residual: Máximo 0,05% en peso de acrilamida monómera. Rango efectivo de pH: 4 a 8. Tiempo de estabilidad del producto: mínimo 9 meses. Máxima dosis utilizable: 1 mg/l.</p>			
<p>2. ENVASE: El producto debe empacarse en fundas resistentes de una de las siguientes alternativas:</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Papel: mínimo 3 capas. Plástico: una capa. b. Sólo plástico: mínimo dos capas. c. Sólo papel: no se aceptará este tipo de envase. <p>El peso neto del producto en cada funda será de 25 a 40 Kg.</p> <p>Información que debe incluir el envase:</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Fabricante, nombre comercial y naturaleza del producto. b. Peso neto. c. Nombre y dirección del fabricante. d. Fecha de fabricación. e. Número de lote. f. Máxima dosis utilizable. g. Avisos y medidas de precaución en el manejo del producto. 			
<p>3. CERTIFICACION:</p> <p>El oferente, adjuntará a su oferta técnica, el listado de la NSF (National Sanitation Foundation International/USA), de productos certificados bajo la norma NSF/ANSI Standard 60 "Drinking Water Treatment Chemical – Health Effect", en el cual conste que el producto ofertado, está acreditado y certificado por la NSF para uso en el tratamiento de agua para uso humano.</p> <p>El listado actualizado, podrá ser obtenido de la página web de la NSF, fuente a la cual, la EMAAP-Q recurrirá para verificar la veracidad del listado presentado.</p>			
<p>4. UTILIZACIÓN PREVIA EN PLANTA:</p> <p>El oferente presentará la documentación que acredite que el producto ofertado, ha sido probado y empleado satisfactoriamente en las plantas de tratamiento de Puengasí y Bellavista preferentemente, ó en una de ellas.</p>			

EMAAP Quito ISO 9001	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE POLÍMERO	REVISION	N.- 00
		FECHA	2010/01/13
		HOJA	2 de 2

5. CAPACITACIÓN Y APOYO TÉCNICO:

El proveedor deberá ofrecer: Asesoría, capacitación, adiestramiento en la optimización de los procesos de tratamiento al personal operativo y profesional de las plantas de tratamiento, para ello, deberá adjuntar a su oferta el programa de actividades de capacitación y asesoría a desarrollar con personal técnico de fábrica.

6. LUGAR DE ENTREGA

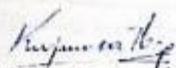
Bodegas La Chorrera de la EMAAP-Q.

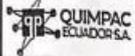
7. CERTIFICACIÓN DE ORIGEN

A la entrega del producto, el proveedor adjuntará copias de los certificados de origen del mismo.

8. ANEXOS:

Ninguno


 Dr. Carlos Espinosa Hidalgo
 JEFE DEL DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN (E)

	FORMATO CERTIFICADO DE ANÁLISIS DE CONTROL DE CALIDAD SULFATO DE ALUMINIO GRADO 1 TIPO A FINO	F.2C6.28 Revisión 04 15/6/2017 Pág. 1 de 1
---	--	--


 Certified to
 NSF/ANSI/CAN 60

CERTIFICADO DE ANÁLISIS DE CONTROL DE CALIDAD

PRODUCTO: SULFATO DE ALUMINIO GRADO 1 TIPO A FINO
 QIMPAC 1000 SF
 ALUMINUM SULFATE GRADE 1 FINE TYPE A

LOTE: 5257

FECHA DE PRODUCCION: FEBRERO / 2023
FECHA DE CADUCIDAD: FEBRERO / 2025

ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO

PARÁMETROS	RESULTADOS	ESPECIFICACIÓN	MÉTODO DE ANÁLISIS
	5257		
Alumina Soluble Total Expresada como Al ₂ O ₃ %	17.44%	17% Mínimo	INEN 1907
Basicidad Expresada como Al ₂ O ₃ %	0.48%	0.05 % Mínimo	INEN 1906
Hierro Soluble Total Expresado como Fe ₂ O ₃ %	0.009%	0.01 % Máximo	INEN 1908
Materias Insolubles en Agua %	0.23%	0.5% Máximo	INEN 1905
Malla # 10	98.70%	90 % Mínimo	—

DOSIFICACIÓN MÁXIMA USO (MUL) 250 mg/L

ANALISTA RESPONSABLE

Kevin Ormae

Planta Tratamiento de aguas Guayaquil

VÍA DAULE KM 16.5, AV ROSAVIN S/N Y CALLE COBRE; GUAYAQUIL - ECUADOR
 INDUSTRIA ECUATORIANA
 PRODUCTO CERTIFICADO CON SELLO DE CALIDAD INEN

QIMPAC ECUADOR S. A.

 QUIMPAC ECUADOR S.A.	CERTIFICADO DE CALIDAD DE CLORO LÍQUIDO	F.206.33 Revisión 03	
		01/10/2021	Pag. 1 de 1

Cont. Especial - Autorización SRI 110363672 RUC# 0990344760001

FECHA: Martes , 18 de Abril de 2023
CLIENTE: JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA
CANTIDAD: 907.000 KG
LIQUIDACIÓN N°: CONTRATO
HORA DE DESPACHO: 16:52:35
PRESENTACIÓN: CILINDRO 907 KG

Serie	Lote	Serie	Lote
1	113031		

Parámetros	Resultados	Lim. Min.	Lim. Max.	Unidad
CONCENTRACIÓN	CUMPLE	99.5		% v/v
HUMEDAD	CUMPLE		150	mg/kg
RESIDUO NO VOLÁTIL	CUMPLE		150	mg/kg
PLOMO	CUMPLE		10	mg/kg
MERCURIO	CUMPLE		1	mg/kg
ARSÉNICO	CUMPLE		3	mg/kg
TETRACLORURO DE CARBONO	CUMPLE		16	mg/kg
TRICLOROMETANOS	CUMPLE		267	mg/kg

*Nota: densidad mínima 1.5 g/cm3

REGULANTE DE PH PARA AGUA POTABLE

COMPOSICION:	MEZCLA DE PRODUCTOS ALCALINOS, HIDROXIDO DE CALCIO GENERADOR DE Na ₂ O: 65% MINIMO
AGUA CRISTALIZADA:	0,10%
Ph	10.5-11.5
SOLUBILIDAD EN AGUA TRATADA	99%

DOSIFICACION

El producto debe ser aplicado presencia de colores muy altos de ingreso a la planta sobre 100 UNIDADES FORMADORAS DE COLOR O CUANDO EL PH DE INGRESO A LA PLANTA SEA INFERIOR A 6.5, de forma que el sulfato de aluminio encuentre suficiente cantidad de **Alcalinizante**. El producto debe ser aplicado al ingreso del agua cruda en las plantas de tratamiento antes de la aplicación del sulfato de aluminio.

- **PARA COLORES DE 100-300 UNIDADES DE COLOR DEL AGUA CRUDA:** dosificar 10 mg/lit de la solución preparada de regulante de pH.
- **PARA COLORES MAYORES A 300 UNIDADES DE COLOR DEL AGUA CRUDA:** dosificar 20 mg/lit de la solución preparada de regulante de pH.

PREPARACION DEL PRODUCTO: Para un tanque de preparación de 1 m³, diluimos 10 Kg del regulante con agua hasta que se complete el volumen de 1 m³. El producto es muy soluble necesita una agitación inicial para su dilución.

PRESENTACION: SACOS DE 25 KILOGRAMOS.

DOSIS EN MILILITROS Y CONCENTRACIONES (ppm) DE SULFATO DE ALUMINIO Y POLÍMERO QUE HAY QUE AÑADIR AL AGUA CRUDA PARA COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN EN FUNCIÓN DE COLOR REAL, TURBIEDAD Y pH.

COLOR UPt-Co	TURBIEDAD NTU	pH	Dosis (ml) Sulfato 4% durante 15 segundos	ppm Sulfato 4%	Dosis (ml) Polímero 0,02% durante 15 segundos	ppm Polímero 0,02%
20	0,7 - 0,9	6,5 - 7,2	330	12,6	600	0,112
25	1,0 - 1,1	6,5 - 7,2	340	12,7	600	0,112
30	1,2 - 1,3	6,5 - 7,2	410	15,4	600	0,112
35	1,3 - 1,4	6,5 - 7,2	450	16,9	600	0,112
40	1,4 - 1,5	6,5 - 7,2	470	17,7	600	0,112
45	1,4 - 1,5	6,5 - 7,2	490	18,4	600	0,112
50	1,5 - 1,6	6,5 - 7,2	520	19,5	650	0,125
55	1,5 - 1,6	6,5 - 7,2	540	20,3	650	0,125
60	1,6 - 1,7	6,5 - 7,2	550	20,65	650	0,125
65	1,6 - 1,7	6,5 - 7,2	560	21,03	650	0,125
70	1,7 - 1,8	6,5 - 7,2	580	21,78	650	0,125
75	1,7 - 1,8	6,5 - 7,2	600	22,53	650	0,125
80	1,7 - 1,8	6,5 - 7,2	610	22,91	700	0,131
85	1,8 - 1,9	6,5 - 7,2	620	23,29	700	0,131
90	1,8 - 1,9	6,5 - 7,2	630	23,66	700	0,131
95	1,9 - 2,1	6,5 - 7,2	640	24,03	700	0,131
100	1,9 - 2,1	6,5 - 7,2	650	24,41	700	0,131
105	2,0 - 2,2	6,5 - 7,2	660	24,78	700	0,131
110	2,2-2,3	6,5 - 7,2	670	25,16	700	0,131
115	2,3 - 2,4	6,5 - 7,2	670	25,16	700	0,131
120	2,4 - 2,5	6,5 - 7,2	680	25,54	700	0,131
125	2,6 - 2,7	6,5 - 7,2	690	25,91	700	0,131
130	2,8-2,9	6,5 - 7,2	710	26,66	700	0,131
135	2,9-3,0	6,5 - 7,2	710	26,66	750	0,14
140	3,0 - 3,1	6,5 - 7,2	720	27,04	750	0,14
145	3,1-3,2	6,5 - 7,2	730	27,41	750	0,14
150	3,2-3,5	6,5 - 7,2	740	27,80	750	0,14

Las dosis fueron calculadas de acuerdo a las siguientes características: Sulfato de Aluminio tipo A fino al 4% (Proveedor QUIMPAC); Polímero: Poliacrilamida catiónica.

PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LA DOSIFICACIÓN DE REACTIVOS:

1. Medir parámetros como color, turbiedad y ph en agua cruda
2. en la tabla, ver la cantidad de reactivo (sulfato de aluminio y polímero) que corresponde al color y turbidez medidos anteriormente.
3. Con la ayuda de la probeta de medición de químicos y de un reloj con cronómetro, medir la cantidad de reactivo que se obtuvo en la tabla, dejando caer el reactivo químico dentro de la probeta por 15 segundos hasta que en ese periodo de tiempo caiga la cantidad de reactivo que se especifica en la tabla.
4. Esperar aproximadamente 5 minutos y evaluar el flóculo en la zona de floculación lenta.
5. En caso de que el flóculo sea bueno, hacer otra evaluación en la floculación rápida.
6. En el caso de que el flóculo no sea el esperado, hacer corrección de la cantidad dosificada y notificar el cambio al jefe de planta.
7. Repetir los pasos anteriores las veces que sean necesarias para tener una correcta dosificación de los reactivos para potabilización.

NOTA: Los datos de la tabla fueron calculados tomando en cuenta valores exactos de volúmenes de agua y pesos de los reactivos, cualquier alteración estos volúmenes y pesos producirá cambios en las cantidades a dosificar. Pesar y medir correctamente para reducir errores.

Anexo D: Manual de operación y mantenimiento del sedimentador

 PLANTA DE NERO	MANUAL DE	Código: PN/OP-
	OPERACIÓN	PT/005/01
	LIMPIEZA	Página: 1 de 2
	LIMPIEZA DE SEDIMENTADORES	Revisado: Ing. Zaldumbide
		Aplica desde: 01/07/2010

1) **DENOMINACIÓN: LIMPIEZA DE SEDIMENTADORES**

2) **FUNDAMENTO:** La limpieza y mantenimiento de los sedimentadores evita una sobresaturación de flóculos decantados en el fondo de la sección y que, sin realizar una respectiva limpieza puede colapsar el sistema enviando flóculos a la sección de filtros.

3) **OBJETIVO:** Mantener los sedimentadores desocupados de cuantiosos depósitos decantados, y asegurar que los flóculos no sobrenaden, evitando con ello la saturación de los sedimentadores, y procurando siempre que este sistema trabaje con un nivel de eficiencia continuo, de tal manera que el agua recolectada en los canales sea exclusivamente agua clarificada.

4) **RESPONSABILIDAD DE APLICACIÓN Y ALCANCE:**

- ✓ Operadores de la Planta de Tratamiento.

5) **DEFINICIÓN:**

- **SEDIMENTACIÓN.**- La sedimentación es una etapa en la que los agregados formados o flóculos, por aumento de su peso molecular “decantan o sedimentan” por acción de la gravedad en cada panel del sistema. Aquellas partículas cuyo micraje no resultó con

un peso específico suficiente para decantar, serán retenidas en la etapa siguiente de lechos filtrantes, quedando el agua sin turbiedad.

6) **DESARROLLO DEL PROCEDIMIENTO:**

A. **LAVADO GENERAL**

1. La sección de sedimentación se divide en 2 compartimentos (sedimentador 1 y sedimentador 2), por lo que se limpiará uno a la vez mientras el otro sigue funcionando con el fin de no suspender el proceso de potabilización.
2. El personal de operación deberá estar adecuadamente equipado (botas de caucho, sombrero o gorra, etc.) y contar con los materiales necesarios para hacer la limpieza.
3. Primero, se procede a bajar la compuerta de entrada de la unidad a lavarse (compuerta azul), que corresponde a la compuerta de paso del floculador al sedimentador y que es individual.
4. Se procede a abrir la válvula de desfogue, hasta vaciar el sedimentador. El agua desviada desde aquí, es conducida a la quebrada. Cada sedimentador tiene su respectiva válvula de desfogue independiente, localizadas en la parte baja y para acceder a ellas, hay que hacerlo a través de escaleras.
5. Provisto de una manguera y con agua a presión se procede a limpiar la estructura interna del sedimentador, sedimentador de alta tasa de remoción (accesorio de plástico), así como las paredes y canaletas laterales. El agua de esta operación es desfogada hacia la quebrada.
6. Una vez limpio se abre la compuerta de entrada de agua al sedimentador.
7. Se procede a cerrar la válvula del desfogue.
8. Se llena de agua esa sección.
9. Se repite la misma operación con el sedimentador 2.

NOTA:

- El lavado es individual (sedimentador 1 o sedimentador 2).
- En vista de que en la sección de sedimentación no hay un desfogue para las aguas de lavado de los canales laterales, para evitar que ésta contamine a los filtros, se debe cerrar las válvulas de ingreso de agua a tres filtros y solamente a uno abrir la válvula

de desfogue de tal manera que el agua de lavado de las canaletas pase a ese único filtro en funcionamiento y se desvíe hacia la quebrada.

B. PURGAS EN LA SEDIMENTACIÓN

1. Se abre la válvula de desfogue del sedimentador a purgar (aprox. 5 vueltas).
2. Se espera a que salga todo el sedimento contenido (aprox. 2 minutos).
3. Y por último, se cierra la válvula de desfogue.

NOTA:

- Las purgas en el sedimentador se realizarán hasta que se observe la salida de agua clara (aproximadamente dos minutos).

7) INSTRUCCIONES ADICIONALES:

- La limpieza del sedimentador se realizará cada 15 -20 días sin suspender el servicio de potabilización.
- Las purgas en ambos sedimentadores se realizará solamente en el turno del día 2 o 3 veces en dicho turno.

8) REGISTRO:

- Lavado de Sedimentadores: Los operadores de la planta registrarán en la Hoja de Registro para operadores PA/PN/RTOP-1 en la sección Apuntes Generales.
- Purgas en el sedimentador: Los operadores de la planta registrarán en la Hoja de Registro para operadores PA/PN/RTOP-1 en la sección Purgas en el Sedimentador anotando la hora en que fue realizado.

9) REFERENCIAS ASOCIADAS:

Ninguna

10) HISTORIA DE REVISIONES:

30/06/2010

20/09/2011

VIGENTE DESDE: 01/07/2010		PRÓXIMA 01/07/2011	REVISIÓN:
REDACTADO POR:	REVISADO POR:		APROBADO POR:
Jessenia Romero Asanza	Ing. Francisco Zaldumbide		Sr. Luis Quinde

 PLANTA NERO	MANUAL DE OPERACIÓN	Código: PRN - 10
	Lavado de los Sedimentadores	Página 1 de 2 Revisado: 06/03/01 Aplica desde: 06/03/01

➤ **Nombre:** Lavado de los Sedimentadores

➤ **Propósito u objetivo:** Asegurar que el floc retenido no se levante y que los sedimentadores trabajen con un nivel de eficiencia continuo.

➤ **Alcance:**

- Operador de la Planta de Nero
- Jefatura de la Planta
- Jefatura de Control de Calidad

➤ **Definiciones:**

- **Sedimentación:** Separa las partículas sólidas (floc) más pesadas que el agua, los lodos van al fondo de la unidad de sedimentación, y el agua clarificada es recolectada a través de canaletas.

➤ **Instrucciones de adicionales:** Las unidades se lavaran cada 15 días, la secuencia de lavado será el sedimentador 1, sedimentador 2.

➤ **Desarrollo del procedimiento:**

1. Cerrar la compuerta de entrada de la unidad a lavarse.
2. Destapar la cámara de desfogue e ingresar en esta para abrir la válvula de lavado en 12 vueltas, para vaciar el sedimentador.
3. Fregar paredes con escoba y lavar con agua.
4. Abrir la válvula de lavado 25 vueltas para vaciar completamente la unidad.
5. Lavar con agua la superficie de los módulos.
6. Abrir la compuerta de entrada 4 vueltas para dejar pasar agua para limpiar la cámara de ingreso al sedimentador.
7. Fregar pisos y paredes de la cámara de ingreso.
8. Limpiar los tubos recolectores con escoba y votar agua sobre ellos.
9. Después de 5 minutos de efectuado el paso 8, cerrar el desfogue y colocar la tapa de seguridad.
10. Abrir la compuerta de entrada al sedimentador hasta la señal marcada.

➤ **Responsabilidades:** Operador de la Planta de Nero

_____ Elaborado por: Ing. Quím. Mónica Marca	_____ Revisado por: Jefe de Plantas Rurales	_____ Aprobado por: director Técnico de Agua Potable y Alcantarillado
--	---	---

 ETAPA PLANTA NERO	MANUAL DE OPERACIÓN	Código: PRN - 10
	Lavado de los Sedimentadores	Página 2 de 2
		Revisado: 06/03/01
		Aplica desde: 06/03/01

➤ Documentos y referencias asociadas:
Cuadros de Dosificación de Sulfato de Aluminio PRN - 6
Cuadros de Dosificación de Polímero PRN - 7
➤ Registros: Libro de operación de Plantas Rurales RGN - 3
➤ Historia de revisiones: 07/09/00
12/09/00
➤ Referencia de difusión o entrega:
Operador de la Planta
Jefatura de la Planta
Jefatura de Control de Calidad

Anexo E: Inspección inicial del estado actual de las unidades de la PTAP de Nero

Unidad	Condición actual	Registro fotográfico
<p>Medidor de caudal</p>	<p>No funciona de manera correcta, pues el aire en la tubería de ingreso afecta a la medición de valores que son inestables la mayor parte del tiempo, por lo que no se tiene una medición exacta del caudal que trata la planta</p>	
<p>Pretratamiento : prefiltros y piletas aireadoras</p>	<p>A simple vista, la unidad de pretratamiento cumple con su función de remover las partículas gruesas que ingresan a la planta.</p>	
<p>Canal de entrada y mezcla rápida</p>	<p>Las cerámicas que cubren las paredes del canal de entrada presentan signos de desgaste y corrosión. En el canal de entrada, se tiene el dosificador de regulador de pH, el cual se activa en tiempos de lluvias intensas cuando el pH baja de 6.5 y se necesita llevarlo al rango de 7.0 o superiores para iniciar con el tratamiento. Justo en el resalto hidráulico se dosifica el sulfato de aluminio al 4%, en la dosis requerida según las condiciones de color, turbiedad y pH del agua cruda. A la salida del canal de mezcla rápida se encuentra un palo de madera colocado transversalmente con el propósito de disminuir la velocidad del agua que entra a los floculadores.</p>	

Floculadores

Las placas de los floculadores están en buen estado, sin embargo, se evidencian zonas muertas en los cambios de dirección del agua, especialmente en los dos últimos tramos en donde el agua tiene un menor gradiente de velocidad. La dosificación del polímero se realiza 3 minutos después de la dosificación del sulfato, en el primer tramo de floculación.



Decantadores

El canal de entrada de los sedimentadores tiene una gran cantidad de sobrenadante después de la compuerta de entrada y de las compuertas divisorias, debido a que se producen remolinos en estas zonas. El ingreso de agua a través de los orificios rectangulares sumergidos en los canales de distribución, es a una velocidad muy alta. La distribución del agua por el canal triangular sumergido presenta ciertos inconvenientes, pues los tubos de PVC, colocados a los costados de este canal, encargados de la distribución de agua, se encontraban obstruidos casi en un 50% de su diámetro. Los tubos perforados de salida de agua sedimentada, presentan fisuras en el hormigón alrededor de los mismos, al atravesar los muros hacia los canales de salida; sin embargo esto ocurre en un pequeño porcentaje. Los canales de salida presentan un poco de moho en sus paredes pero su funcionamiento es normal.



Filtros

Los filtros parecen estar en buen estado, sin embargo, se saturan rápidamente y necesitan limpieza de dos veces diarias (cada 12 horas) y en condiciones de invierno puede llegar a necesitar hasta seis limpiezas diarias.



Desinfección

La desinfección se da en el tanque de cloración para posteriormente ser distribuida al tanque de reserva de la planta (1500 m³)



Mezcladores y dosificadores

Todos los mezcladores son de tornillo en tanques de 1 m³, el polímero tiene dos tanques, el regulante de pH y el sulfato 1 tanque. Lo que se puede observar a simple vista son los problemas de disolución que tiene el polímero, pues no se mezcla por completo con el agua para formar una solución homogénea, sedimentando gran parte del producto, dándole un color blanquecino a la mezcla.



Anexo F: parámetros químicos del agua cruda y sedimentada

Color (UPtCo)				Turbiedad (NTU)			
Fecha	Agua cruda	Agua decantada	Eficiencia de remoción	Fecha	Agua cruda	Agua decantada	Eficiencia de remoción
Ene-22	38,6	19,0	51%	Ene-22	1,6	2,5	-54%
Feb-22	50,9	26,2	48%	Feb-22	1,5	3,0	-103%
Mar-22	71,9	35,6	51%	Mar-22	1,8	3,2	-79%
Abr-22	71,9	40,3	44%	Abr-22	1,5	3,2	-116%
May-22	67,3	32,1	52%	May-22	1,7	3,2	-85%
Jun-22	61,2	41,6	32%	Jun-22	1,6	3,2	-100%
Jul-22	57,1	29,6	48%	Jul-22	1,5	3,2	-116%
Ago-22	45,3	22,3	51%	Ago-22	1,8	2,8	-60%
Sep-22	29,3	17,2	41%	Sep-22	1,4	2,7	-87%
Oct-22	67,0	39,4	41%	Oct-22	1,8	3,0	-65%
Nov-22	33,3	19,3	42%	Nov-22	1,2	2,2	-88%
Dic-22	29,4	21,3	27%	Dic-22	1,2	2,4	-110%

pH		
	Agua cruda	Agua decantada
ene-22	6,9	6,8
feb-22	6,8	6,6
mar-22	6,9	6,6
abr-22	7,0	6,7
may-22	7,5	7,2
jun-22	7,2	7,0
jul-22	6,9	6,6
ago-22	7,0	7,1
sep-22	7,3	7,3
oct-22	7,0	7,6
nov-22	7,0	7,3
dic-22	7,2	7,5

Anexo G: Ensayo de sedimentación para la evaluación del estado actual de la PTAP de NERO.

Ficha técnica de ensayo de jarras

1. Equipo de jarras

Volumen de jarras: 2 l

Paletas: simples

Estatores: sí

2. Agua cruda

Turbiedad:	0.926	NTU(FTU)	Color Aparente:	24	U.C. (Pt-Co)
pH:	8.1		Alcalinidad total:	28	mg/l CaCO ₃

3. Dosis óptima

Coagulante: Solución sulfato de aluminio (SO₄)₃AL₂, alumbre 1% Dosis: 15.4 mg/l

Polímero: Catiónico 0.05% Dosis: 0.03 mg/l

Modificador de pH: No se utilizó

4. Mezcla rápida

Velocidad: 300 rpm

Tiempo de mezcla: 1 min

5. Floculación

Tramo 1: 60 rpm

T_f: 5.71 min

Tramo 2: 45 rpm

T_f: 7.33 min

6. Sedimentación

Profundidad de toma de muestra: 8cm

Tiempo de sedimentación: 10 min

Tiempo de sedimentación	Velocidad de sedimentación (w_s)	Turbiedad [UN]			
		Inicial	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
30"	0.267	0.926	1.79	0.758	1.04
1'	0.133	0.926	1.22	0.62	0.867
1'30"	0.089	0.926	1.29	0.988	0.687
2'	0.067	0.926	1.04	0.717	0.605
3'	0.044	0.926	1.05	0.614	0.674
4'	0.033	0.926	1.00	0.59	0.546
5'	0.027	0.926	0.915	0.62	0.622
6'	0.022	0.926	1.06	0.618	0.718
8'	0.017	0.926	0.37	0.565	0.606
10'	0.013	0.926	0.694	0.561	0.489

Anexo H: Ensayo de sedimentación para el rediseño de la PTAP de NERO.

Ficha técnica de ensayo de jarras

1. Equipo de jarras

Volumen de jarras: 2 l

Paletas: simples

Estatores: sí

2. Agua cruda

Turbiedad:	0.846	NTU(FTU)	Color Aparente:	69	U.C. (Pt-Co)
pH:	6.93		Conductividad:	48.1	uS/cm

3. Dosis óptima

Coagulante: Policloruro de Aluminio Tipo A QUIMICALZEN 1%

Dosis: 6 mg/l

Modificador de pH: No se utilizó

4. Mezcla rápida

Velocidad: 300 rpm

Tiempo de mezcla: 1 min

5. Floculación

Tramo 1: 60 rpm

T_f: 9 min

Tramo 2: 35 rpm

T_f: 10 min

6. Sedimentación

Profundidad de toma de muestra: 8cm

Tiempo de sedimentación: 10 min

Tiempo de sedimentación	Velocidad de sedimentación (w_s)	Turbiedad [UN]	
		Inicial	Muestra 1
30"	0.266	0.846	3.65
1'	0.133	0.846	4.36

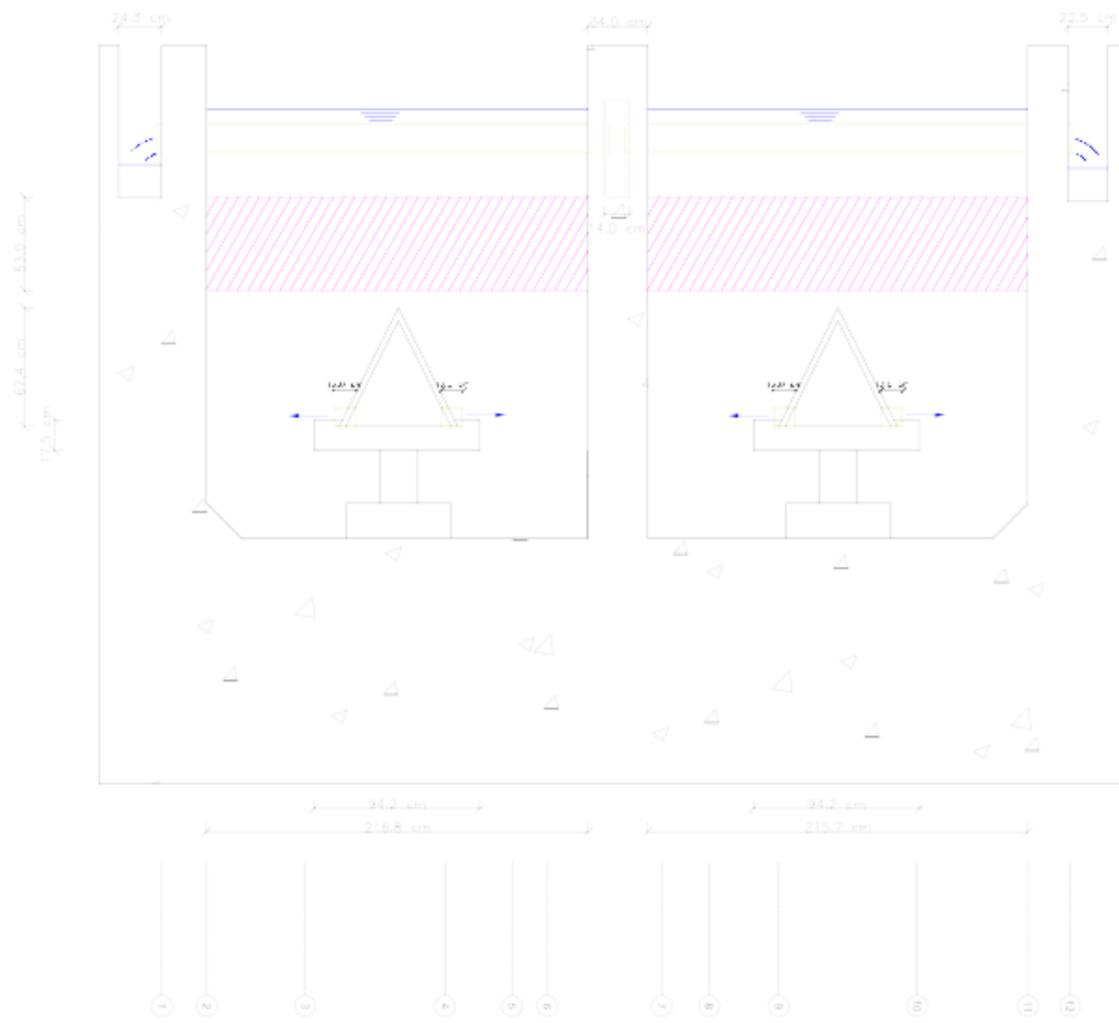
1'30"	0.088	0.846	3.94
2'	0.066	0.846	3.73
2'30"	0.053	0.846	3.98
3'	0.044	0.846	3.76
4'	0.044	0.846	3.36
6'	0.022	0.846	3.15
8'	0.016	0.846	2.25
10'	0.013	0.846	1.72

7. Características del Policloruro de Aluminio Tipo A

Proveedor: QUIMICALZEN

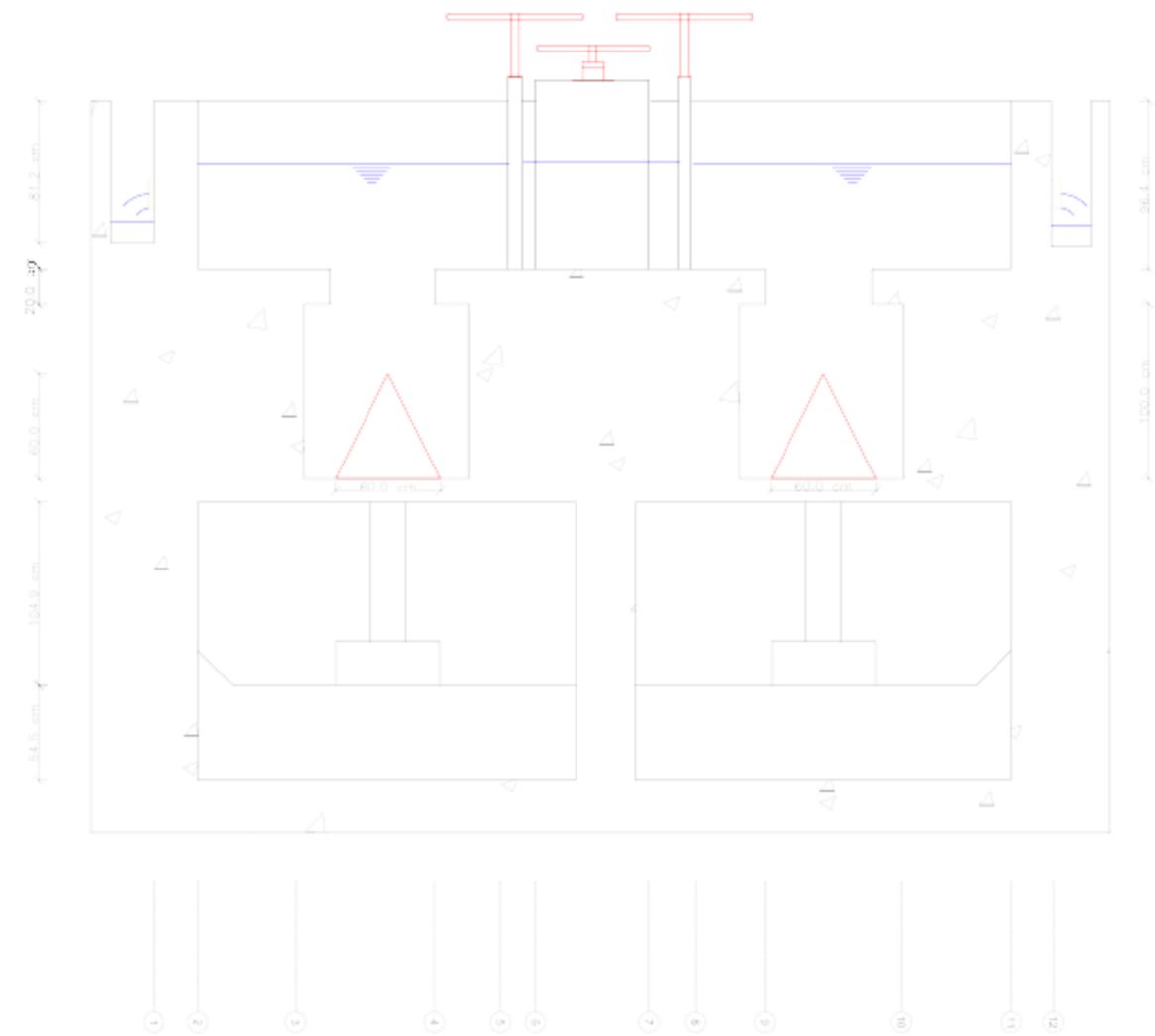
AL ₂ O ₃	mínimo 30%
Óxido de Aluminio	mínimo 30%
Basicidad	40-85%
pH	3.5-5.0 (solución acuosa 1%)
Insolubilidad en agua por ciento	Máximo 0.3
Hierro	0.1%
Carácter	Iónico: catiónico
Granulosidad	90%

10. Anexos (Planos)



SECCIÓN D-D

ESCALA 1:20



SECCIÓN A-A

ESCALA 1:20

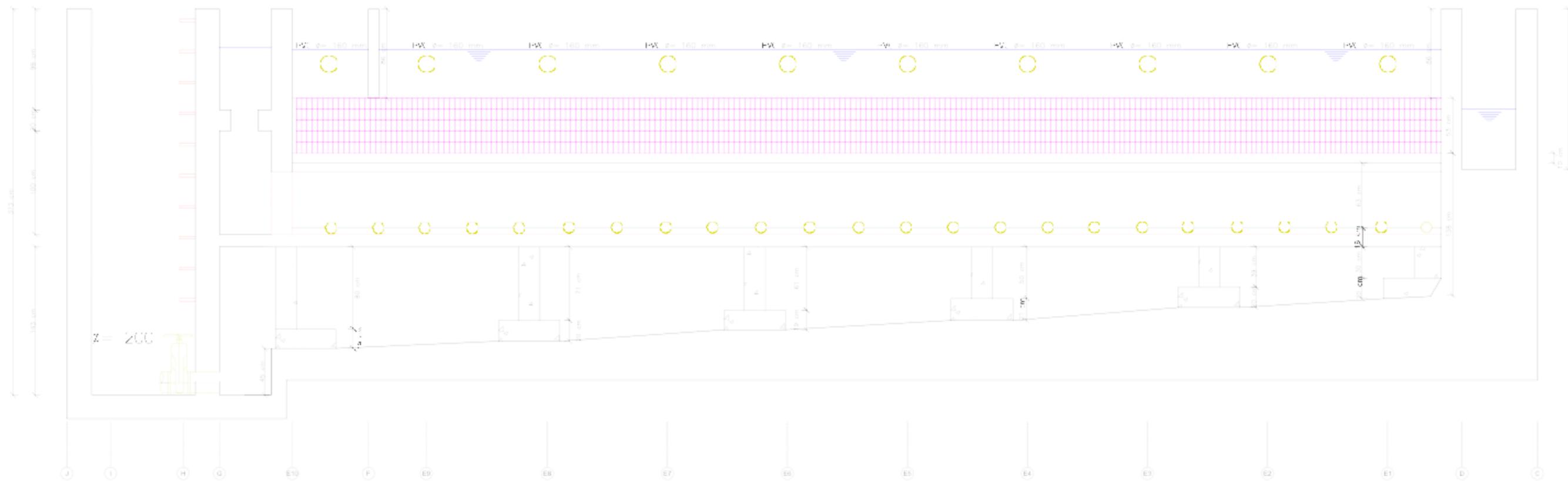
DETALLE CONSTRUCTIVO

TUBERÍA DE SALIDA DE AGUA ACLARADA



ESCALA 1:10

		UNIVERSIDAD DE CUENCA	
		HOJA	251-A
INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS INIATEC		ESCALA	1:20
CONTIENE:		FECHA	2023-08-01
AUTORES: CAROLINA GARCÍA CAROLINA GARCÍA	PAISAJES: DISEÑO: ANÁLISIS:	PLANOS: 1/01	
		DISEÑADOR: CAROLINA GARCÍA	



SECCIÓN B-B

		UNIVERSIDAD DE CUENCA	
		HOJA	201 A
INSTITUCIÓN DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS INGENIERÍA DE SISTEMAS DE INGENIERÍA		ESCALA	1:20
CONTIENE:		FECHA:	2024-08-20
AUTORES: CAROLINA C. DÍAZ Y. A. RIVERA	PAISAJES: DÍAZ	DISEÑO 3D: DÍAZ	PLANOS: 1/10
		DISEÑADOR: DR. ESTEBAN RAMÍREZ	