



**INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS**  
San José, Costa Rica  
Apartado 1097-1200. Teléfono 2242-5261. fgonzalez@aya.go.cr

**MEMORANDO**

**PARA:** Oscar Izquierdo Sandí  
Cooperación y Asuntos Internacionales

**FECHA:** 12 de noviembre del 2018

**DE:** José Francisco González Fallas  
UEN Administración de Proyectos GSD

**No. GSD-UEN-AP-2018-01469**

**ASUNTO:** Informe curso Diseño Plantas - Peru-Octubre 2018

---

Le adjunto informe del Curso "Diseño de plantas de tratamiento de filtración rápida (PFR) de Tecnología Apropriada", recibido en Lima - Perú del 15 al 24 de octubre del 2018 para lo que corresponda.

El informe fue realizado en conjunto con la funcionaria Angie Redondo Campos, quien también participo en el curso.

Así mismo, le adjunto CD con el informe en formato digital y un video tomado en la casa de monitoreo de la planta de tratamiento del Consorcio Agua Azul que se visito como parte del curso.



**C:** Rodhe Baez Espinoza, Cooperación y Asuntos Internacionales  
Angie Natalia Redondo Campos, UEN Administración de Proyectos GSD  
Archivo



**INSTITUTO COSTARRICENSE DE  
ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS**

**DEPENDENCIA:  
SUBGERENCIA DE SISTEMAS COMUNALES**

**INFORME DE VIAJE AL EXTERIOR  
del 15 al 24 de Octubre del 2018**

**TRANSFERENCIA DE CONOCIMIENTOS  
CURSO:  
"DISEÑO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO  
DE FILTRACIÓN RÁPIDA (PFR) DE TECNOLOGÍA  
APROPIADA".**

***Fecha: noviembre del 2018***

# TABLA DE CONTENIDOS

	PAGINA
1 Ficha informativa.....	1
2 Introducción.....	2
3 Objetivos.....	3
3.1 Objetivo General del viaje.....	3
3.2 Objetivos Específicos del curso.....	3
4 Desarrollo del Informe.....	4
4.1 Antecedentes.....	4
4.2 Agenda de la actividad.....	5
4.3 Desarrollo de la Agenda: Sesiones (Diarias).....	5
4.3.1 Lunes 15 de octubre del 2018.....	5
4.3.2 Martes 16 de octubre del 2018.....	8
4.3.3 Miércoles 17 de octubre del 2016.....	10
4.3.4 Jueves 18 de octubre del 2016.....	14
4.3.5 Viernes 19 de octubre del 2016.....	18
4.3.6 Lunes 22 de octubre del 2018.....	22
4.3.7 Martes 23 de octubre del 2018.....	24
4.3.8 Miércoles 24 de octubre del 2016.....	24
5 Conclusiones y recomendaciones.....	26
6 Observaciones finales.....	28
7 Anexos.....	29
1_TEMARIO DEL CURSO.	
2_INFORMACION TECNICA LAMINAS PARA SEDIMENTADORES Y FLOCULADORES	
3_PRACTICA DETERMINACION DEL CLORO RESIDUAL.	
4_COPIA DE CERTIFICADO DE PARTICIPACION EN EL CURSO	

## **1. FICHA INFORMATIVA:**

**País y ciudad visitado:** Perú, Lima.

**Fecha de la visita:** 15 al 24 de octubre del 2018.

**Funcionario(s) de misión AyA:** Francisco González Fallas y Angie Redondo Campos.

**Motivo del viaje:** Curso "Diseño de plantas de tratamiento de filtración rápida (PFR) de Tecnología Apropriada".

### **Contacto en el lugar de misión:**

- Ing. Guillermo León Suematsu, Presidente Capitulo de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Consejo Departamental de Lima, Colegio de Ingenieros del Perú.
- Ing. Víctor Maldonado Yactayo, Coordinador del Curso. Lima, Perú. Tel.: (+51) 999 659 569. Correo-e: vmaldonado@ingenieriasanitaria.com.pe y vmaldonado@uni.edu.pe

### **Docentes:**

- El Curso fue impartido por el Ing. Víctor Maldonado Yactayo y la Ingra Lidia Canepa de Vargas, ambos profesionales en Ingeniería y expertos en el tema.

El Ing. Víctor Maldonado Yactayo es Consultor de Obras, Magíster en Ciencias con mención en Tratamiento de Aguas y Reuso de Desechos por la Universidad Nacional de Ingeniería. Ingeniero Sanitario colegiado en el Consejo Departamental de Lima del Colegio de Ingenieros del Perú desde 1990. Consultor, especialista en formulación de proyectos de agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales. Especialista en diseño, operación y evaluación de plantas de tratamiento de agua (PTA) para consumo humano y plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR). Así como capacitador en el diseño, evaluación y operación de plantas de tratamiento de agua.

La Ingra. Lidia Vargas de Canepa, fue investigadora, Asesora en Tratamiento de Agua para Consumo Humano y profesional del CEPIS/OPS. Durante su labor en el CEPIS, fue capacitadora y tuvo a cargo la elaboración y actualización de muchos documentos sobre tratamiento de agua para consumo humano. En la actualidad esta jubilada e imparte seminarios y cursos en el área de tratamiento de agua potable.

### **Instituciones organizadoras:**

- Capítulo de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Consejo Departamental de Lima, Colegio de Ingenieros del Perú.

## **2. INTRODUCCIÓN**

El curso "Diseño de plantas de tratamiento de filtración rápida (PFR) de Tecnología Apropiaada", se orientó a la formación de profesionales con responsabilidad técnica en el uso y diseño de plantas de Filtración Rápida (PFR) de tecnología apropiada.

El curso a su vez fue diseñado por el Capítulo de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Consejo Departamental de Lima, Colegio de Ingenieros del Perú, de tal forma que tuviera una parte teórica y una parte práctica (taller de diseño) en donde los participantes tuvieran la oportunidad de aplicar los criterios de diseño aprendidos en el curso.

La actividad de capacitación se desarrolló desde el día lunes 15 de octubre al 24 de octubre del 2018, con un horario de inicio entre 8:00 am y 6:00 pm aproximadamente la primera semana y la segunda semana de entre 8:00 am y 4:00 pm aproximadamente excepto el día miércoles que fue el cierre del curso con la visita a la planta de tratamiento del Consorcio Agua Azul y que finalizo a las 2.30 pm.

El curso fue impartido en las instalaciones del Consejo Departamental de Lima, Colegio de Ingenieros del Perú.

**No se realizaron ejercicios de campo y el curso fue impartido mediante presentaciones magistrales por parte de los dos ingenieros (docentes).**

Como fuente bibliográfica se utilizó tres libros:

- Tratamiento de agua para consumo humano, Plantas de filtración rápida, Manual I: Teoría Tomo I.
- Tratamiento de agua para consumo humano, Plantas de filtración rápida, Manual I: Teoría Tomo II
- Tratamiento de agua para consumo humano, Plantas de filtración rápida, Manual II: Diseño de plantas de tecnología apropiada.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo general del viaje:**

Obtener la capacitación necesaria para el diseño de plantas de tratamiento de filtración rápida. Desde la selección del tipo de agua cruda (análisis, pruebas, análisis microbiológicos), diseño de cada componente, canal de entrada, sistemas de dosificación, floculación, sedimentación decantación laminar, filtración rápida, de desinfección apropiada.

#### **3.2 Objetivos específicos del curso:**

- Utilizar los conocimientos adquiridos en el curso para elaborar proyectos hidráulicos de nuevas plantas de tratamiento de agua y proyectos de rehabilitación y mejoramiento utilizando tecnología apropiada para América Latina.
- Complementar la formación como evaluadores de plantas de tratamiento de filtración rápida (PFR).
- Determinar los tipos de plantas de tratamiento de agua potable, definir las teorías de coagulación, decantación, demanda de cloro como sistema de desinfección, criterios de diseño para unidades y equipo de dosificación de sustancias químicas que conlleva el proceso de potabilización del agua. Implementar el conocimiento para la elaboración de los parámetros para la puesta en marcha y operación normal de una planta potabilizadora.

## **4. DESARROLLO DEL INFORME**

### **4.1 Antecedentes**

La tecnología de filtración rápida está siendo utilizada en numerosos proyectos y estudios en el AyA en lo referente a la potabilización del agua para consumo humano. Esta tecnología tiene la gran ventaja de que no existen limitaciones en cuanto a capacidad, ni restricciones para su uso, pues se adapta a diversas calidades de agua y a los recursos disponibles en el medio.

Las plantas potabilizadoras diseñadas con esta tecnología son fáciles de construir, operar y mantener con recursos locales, y generan mayores oportunidades de trabajo en todas las etapas de su implementación. Estos sistemas no requieren que las empresas operadoras del sistema dependan de otras empresas para contratar los servicios de mantenimiento preventivo y correctivo.

En la actualidad la SubGerencia de Gestión de Sistemas Comunales del AyA es la responsable por velar la gestión de todos los acueductos administrados por las ASADAS en el país. Así como la encargada de velar por todas aquellas comunidades que aún no cuenta con el suministro de agua potable para que posean uno.

Como una parte del diseño de los sistemas de abastecimiento, el departamento de Estudios Básicos y Diseños de la SubGerencia de Gestión de Sistemas Comunales realiza con frecuencia los diseños hidráulicos de las plantas de tratamiento a emplear en los proyectos que así lo requiera, pero tiene la limitante de que no cuenta en este momento con profesionales capacitados en este tipo de tecnología, por lo que se requiere capacitar al personal en este campo, con el fin de que adquieran los conocimientos y herramientas necesarias para realizar el diseño y a su vez evaluar sistemas de tratamiento de potabilización, específicamente Plantas de Filtración Rápida, con más eficacia, en menor tiempo y con mejores criterios técnicos.

**Dado lo anterior, El Colegio de Ingenieros del Perú, a través del Consejo Departamental de Lima y del Capítulo de Ingeniería Sanitaria y Ambiental ofrece el curso regional de “Diseño de Plantas de Filtración Rápida (PFR) de Tecnología Apropriada” con el fin de que los profesionales de toda Latinoamérica se capaciten en el uso y diseño de esta tecnología. El curso plantea las herramientas necesarias para realizar el diseño y a su vez evaluar sistemas de tratamiento de potabilización, específicamente en Plantas de Filtración Rápida, lo que permite a todas aquellas personas que lo reciban el contar con procedimientos definidos para el correcto funcionamiento de las estructuras diseñadas y puestas en operación de las plantas de tratamiento.**

Al finalizar el curso los participantes estarán en capacidad de:

- Elaborar proyectos hidráulicos de nuevas plantas de tratamiento de agua y proyectos de rehabilitación y mejoramiento utilizando tecnología apropiada para América Latina.
- Complementar su formación como evaluadores de PFR.
- Incluir estas materias en sus syllabus, en el caso de docentes.
- Actuar como coordinadores y/o instructores locales en cursos similares.

## 4.2 Agenda de la actividad del curso

La agenda del programa de capacitación se puede apreciar en el anexo1. Cada día se desarrolló varios temas y la dinámica de trabajo consistió en exposiciones magistrales por parte de los docentes con consultas y discusión de los conceptos en clase.

## 4.3 Desarrollo de la Agenda: Sesiones (Diarias)

### 4.3.1 Lunes 15 de Octubre de 2018

#### 4.3.1.1 Contaminantes Fisicoquímico de las aguas superficiales y normas de calidad de agua

Como resumen de la presentación y los libros adquiridos podemos denotar:

Una planta se diseña a la medida de la calidad del agua cruda que se va a tratar en la misma. Y esta agua cruda puede traer contaminantes importantes a analizar.

El origen de los contaminantes puede ser natura o antropogénicos. Natural se refiere a desastres naturales, incendios, deslizamientos u otros eventos naturales que pueden afectar una cuenta y por antropogénicos se refiera a contaminantes producidos por el ser humano como los son los desechos humanos y solidos que se producen todos los días.

Existen características de tipo físicas y biológicas que definen la calidad del agua.

**Características físicas:** que se refiere a parámetros que se detectan con los sentidos y tienen incidencia directa en las características estéticas de agua como:

- Turbiedad
- Color
- Olor
- Sabor
- Temperatura
- Otros

**Características químicas:** se refiere a cualquier a la presencia de cualquier elemento de la tabla periódica.

- Aceites y grasa
- Agentes espumantes
- Alcalinidad
- Aluminio
- Otros

Tanto las características físicas como químicas son necesarias determinadas para conocer la calidad de agua con la que se va a trabar por lo que se requiere medición de parámetros en mínimo un ciclo hidrológico para el planteamiento del diseño de la planta potabilizadora.

#### **4.3.1.2 Contaminantes microbiológico de las aguas- Bacteriología.**

Como resumen de la presentación y los libros adquiridos podemos denotar:

Se requiere conocer adecuadamente y de primero los contaminantes que trae el agua a tratar para definir lo tratamientos bacteriológicos a aplicar en los procesos de la planta.

#### **4.3.1.3 Contaminantes microbiológico de las aguas-Parasitología**

Como resumen de la presentación y los libros adquiridos podemos denotar:

El uso de aguas superficiales como fuentes de agua para consumo humano implica un riesgo de transmisión de enfermedades hídricas. Más que se han demostrado a lo largo del tiempo, la presencia de patógenos en aguas superficiales, así como su relación con los brotes epidémicos.

Por lo anterior se requiere determinar y analizar las características de las aguas superficiales, las cuales son:

1. Organismos propios de las aguas superficiales: se refiere a que en las aguas superficiales se encuentra una amplia gama de organismos no perceptibles a simple vista
2. Baterías patógenas: estos agentes llegan a los cursos de agua a través de las descargas de agua residuales sin tratar o con tratamientos deficientes, drenajes de lluvias, descarga de procesamiento de alimentos u otros métodos de descarga de agua a los ríos sin un previo tratamiento adecuado.

3. Virus entéricos: son virus que se multiplican en el intestino del hombre y son secretados en gran número en las heces de los individuos infectados, que a su vez pueden ser descargados de una forma no adecuada en las aguas superficiales.
4. Enteroparasitos: las aguas superficiales están expuestas a este tipo de contaminación por la falta de protección de las fuentes de agua.

Es importante recordar que la vigilancia de la calidad de agua garantiza que el agua está libre de microorganismos infecciosos.

#### 4.3.1.4 Determinación de parámetros de dosificación

Como resumen de la prueba realizada de laboratorio podemos indicar:

Se realizaron pruebas de jarras con agua cruda con los siguientes datos:

<b>Agua cruda</b>	
Turbiedad	77 UNT
pH	7,8
Alcalinidad	80 mg/l
<b>Mezcla rápida</b>	
Velocidad	300rpm (G=40 s-1)
Tiempo	5s
<b>Floculación</b>	
Velocidad	34rpm (G=40 s-1)
Tiempo	20 min
<b>Decantación</b>	
Tiempo	10 min
h (altura de muestreo)	6 cm
<b>Coagulante (Sulfato de Aluminio)</b>	

C (concentración)	1 %
-------------------	-----

Dada la información anterior y la realización de la prueba de jarras varias veces se pudo determinar: La dosis óptima, concentración óptima y pH del agua adecuada para la debida coagulación y floculación en una simulación del proceso de una planta de tratamiento de filtración rápida.

### **4.3.2 Martes 16 de Octubre del 2018**

#### **4.3.2.1 Teoría de Coagulación**

Como resumen de la presentación y los libros adquiridos podemos denotar:

La coagulación se lleva a cabo generalmente con la adición de sales de aluminio e hierro al agua cruda que ingresa a la planta con el fin de que se dé una transformación de las pequeñas partículas (coloides) o impurezas, solubles e insolubles en grandes aglomerados sedimentables (flóculos). Este proceso es muy rápido de acuerdo a las demás características del agua.

La coagulación tiene dos etapas:

- 1- Desestabilización: Que se refiere a vencer las barreras de repulsión entre los coloides (mezcla rápida)
- 2- Floculación: Transporte de partículas coloidales desestabilizadas para formar un crecimiento en el tamaño de las mismas (flóculos).

La coagulación mediante sales inorgánicas se produce predominantemente por medio de dos mecanismos:

- A) Adsorción de las especies hidrolíticas por el coloide lo que provoca la neutralización de la carga, este proceso es más común que suceda en tratamientos de aguas turbias.
- B) Coagulación de barrido, en la que se produce las interacciones entre el coloide y el hidróxido precipitado, este proceso es más común que suceda en tratamiento de aguas claras.

Dado a lo indicado anteriormente se establecen factores que influyen en la coagulación como lo son las características del agua cruda (pH, temperatura, alcalinidad, otros) y variables químicas (dosis optima, pH optima, alcalinidad y otros).

#### **4.3.2.2 Teoría de la mezcla rápida y floculación.**

Como resumen de la presentación y los libros adquiridos podemos denotar:

Se denomina mezcla rápida a las condiciones de intensidad de agitación y tiempo de retención que debe reunir la masa de agua en el momento que se dosifica el coagulante, con la finalidad de que las reacciones de coagulación se den en las condiciones óptimas.

Los parámetros del proceso de la mezcla rápida son:

1. Intensidad de agitación, el cual se determina a través del gradiente de velocidad
2. Tiempo de retención, que va desde decimas de segundos hasta 7 segundos

Las características propias de la mezcla rápida, que influye de manera determinante en la eficiencia fiscal de todo el tratamiento son los parámetros operacionales de la unidad, el tipo de mezclador y el sistema de aplicación de coagulante.

Dado lo anterior se indican que las unidades normalmente utilizadas para la producir la mezcla rápida se puede clasificar en dos grandes grupos: mecánica (rotamezcladores, otros), hidráulica (resalto hidráulico, inyectoros, otros).

Por otro lado el objetivo principal de la floculación es reunir las prácticas desestabilizadas para formar aglomeraciones de mayor peso y tamaño que sedimentos con mayor eficiencia.

En este proceso interviene tres mecanismos de transporte, dependiendo del tamaño de la partícula a remover, los cuales son: floculación browniana, gradientes de velocidad y sedimentación diferencial.

Los principales factores que influyen en la eficiencia de este proceso son:

- Naturaleza del agua
- Variación de caudal
- Intensidad de agitación
- Tiempo de floculación
- El número de compartimientos de la unidad

#### **4.3.2.3 Teoría de decantación y tipo de unidades**

Como resumen de la presentación y los libros adquiridos podemos denotar:

Sedimentación y decantación se refieren al mismo término y se entiende como la remoción por efecto gravitacional de las partículas en suspensión presentes en el agua. Estas partículas deberán tener un peso específico mayor que el del agua.

Las partículas en suspensión sedimentan en diferentes formas, dependiendo de las características de las partículas y la concentración de la misma. Por lo anterior se puede indicar que existe la sedimentación de partículas discretas, sedimentación de partículas floculentas y sedimentación de partículas por caída libre e interferida.

Como se ha indicado en los apartados anteriores, siempre existen factores que influyen en el proceso y para este caso son los siguientes:

1. Calidad del agua
2. Condiciones hidráulicas
3. Factores externos

La sedimentación se realiza de acuerdo al tipo de partícula que se remueva en cada unidad, por lo que se propone una clasificación de sedimentación de acuerdo a la remoción deseada, la cual es: Sedimentadores y decantadores estáticos y de sedimentadores y decantadores dinámicos.

#### **4.3.2.4. Determinación de parámetros de floculación-decantación y filtración directa.**

Como resumen de las pruebas de laboratorios realizados podemos denotar:

Con los datos utilizados el día 15 de Octubre para determinar a dosificación, se continuo la practica con la prueba de jarras para determinar los parámetros de floculación, decantación y filtración utilizando varias velocidades, pH en el agua y los gradientes tanto altos como bajos para identificar las diferencias y permitirnos determinar cuáles son las que dan mejores resultados resultados según nuestra prueba de ensayo.

### **4.3.3 Miércoles 17 de Octubre del 2018**

#### **4.3.3.1 Teoría de filtración y tipo de unidades**

Como resumen de la presentación y los libros adquiridos podemos denotar:

La filtración consiste en la remoción de partículas suspendidas y coloidales por estar en una suspensión acuosa que escurre a través de un medio poroso, siendo la operación final de clarificación que se realiza en una planta de tratamiento de agua.

Los mecanismos de filtración son tanto el transporte que es un fenómeno físico e hidráulico afectado por la transferencia de masas, como la adherencia que es un fenómeno de acción superficial, que es influenciado por parámetros físicos y químicos.

La eficiencia de la filtración está relacionada con las características de la suspensión del medio filtrante, de la hidráulica de la filtración y de la calidad del efluente.

Se indican los principales factores que influyen en la filtración rápida:

- Características de la suspensión
- Características del medio filtrante
- Características hidráulicas

Además los tipos de unidades de filtración se pueden determinar por:

A- Clasificación: esto se determina teniendo en cuenta los siguientes parámetros: lecho filtrante, sentido del flujo durante la filtración, la forma de aplicar la carga de agua sobre el medio filtrante y la forma de control operacional.

B- Filtración por gravedad: esta se emplea usualmente en plantas de tratamiento para fines de abastecimiento público y pueden ser:

- Filtración ascendente
- Filtración descendente
- Filtración ascendente –descendente

C- Método de control de operación:

- Tasa constante y nivel variable
- Tasa y nivel constante
- Tasa declinante

D- Medios filtrantes:

- Filtros de lecho simple
- Filtros de lecho múltiple
- Filtración a presión

#### **4.3.3.2 Tipos de plantas y criterios de selección**

Como resumen de la presentación y los libros adquiridos podemos denotar:

Para la selección del tratamiento y el tipo de planta a utilizar es necesario reunir información sobre la calidad de la fuente, permitiéndonos conocer la variación de parámetros a lo largo del tiempo.

Los parámetros de calidad decisivos para seleccionar las alternativas de tratamiento adecuado son los siguientes:

1. Turbiedad
2. Color
3. NMP de coliformes fecales
4. Conteo de algas

Además se recomienda muestrear tanto en época seca como en época lluviosa, lo que permitiría determinar el contenido microbiológico que este indispensable para el diseño porque se requiere plantear la opción que mejor se ajuste a la remoción de estos microorganismos que representan un riesgo para el consumo humano. Entre más amplia sea la información mejor tipo de proceso y plantas se seleccione.

La determinación de los parámetros a tratar en los procesos mediante la simulación en el laboratorio es necesaria en la fase de planteamiento del proyecto ya que permite determinar las dimensiones de las unidades de la planta, por lo que se considera:

1. Fundamentos: se ha demostrado que para cada tipo de agua existen parámetros de diseño específicos que optimizan los procesos y producen la máxima eficiencia remocional.
2. Equipos utilizados: equipos tecnológicos de laboratorio utilizados para la determinación del proceso de diseño.
3. Consideraciones generales para la ejecución de ensayos en la prueba de jarras: controles que sirven para evaluar los efectos producidos al variar el valor del parámetro que está siendo medido en un medio controlado como lo es el laboratorio.
4. Parámetros de dosificación: bajo los procesos de pruebas de laboratorio se debe determinar: la selección del coagulante apropiado, dosis óptima, concentración óptima, pH modificado, otros.

#### **4.3.3.3 Criterios de diseño para mezcladores hidráulicos**

Como resumen de la presentación y los libros adquiridos podemos denotar:

Tienen como objetivo principal la dispersión instantánea del coagulante en toda la masa de agua que se va a tratar. Esta dispersión debe ser lo más homogénea posible, con el objeto de desestabilizar todas las partículas presentes en el agua.

La eficiencia de la coagulación depende de la dosificación y de la mezcla rápida. Por lo que en la mezcla rápida debe de existir turbulencia para que la mezcla del coagulante y la masa de agua se de en forma provechosa.

Los principales parámetros de diseño de la unidad de mezcla rápida son:

- La intensidad de agitación, medida a través del gradiente de velocidad, puede variar de 700 a 1300s<sup>-1</sup> según el tipo de unidad seleccionada
- El tiempo de retención puede variar de décimas de segundo a siete segundos, dependiendo de la concentración de coloides en el agua por tratar y el tipo de unidad seleccionada.

Entre los mezcladores hidráulicos más utilizados por su simplicidad y eficiencia son: canales con cambio de pendientes o rampas, canales Parshall, vertederos rectangulares y triangulares, difusores e inyectores.

En cuanto a los mezcladores mecánicos se determina que son más eficientes cuando se emplea agitadores de tipo turbina, los cuales imparten movimiento al líquido a través de la rotación. Este sistema es adecuado para cualquier tipo de agua, pero se recomienda específicamente para aguas claras que coagulen por el mecanismo de captura o de barrido.

#### 4.3.3.4 Ensayo de demanda de cloro

Como resumen de la prueba de laboratorio realizada podemos determinar:

La cloración del agua constituye una práctica sanitaria imprescindible a nivel de los servicios de abastecimiento público. Y cualquier técnica que se utilice para medir cloro residual en el agua debe ser capaz de diferenciar entre el cloro libre (CRL) y el cloro residual combinado (CRC).

En siguiente cuadro detalla los materiales y reactivos que se utilizan principalmente para realizar la prueba.

MATERIALES	REACTIVOS
Bureta de 25 ml	Solución Buffer fosfato
Fiola de 500ml	Solución indicadora de DPD
Vaso de 100ml	Solución sulfato ferroso amoniacal (FAS)
Pipetas graduadas de 5ml	Yoduro de potasio en cristales.
Probeta de 100ml	

Y la prueba consiste en aplicar diferentes dosis de cloro (crecientes) a volúmenes iguales de la muestra de agua cruda, exponiéndolos a un tiempo de contacto determinado para luego determinar el cloro residual en cada uno de los recipientes. La

demanda de cloro es diferente entre la cantidad de cloro que se aplica y la cantidad remanente de cloro residual total que existe al finalizar el tiempo de contacto.

Lo anterior se detalla más ampliamente en el anexo 1.

#### **4.3.4 Jueves 18 de Octubre del 2018**

##### **4.3.4.1 Criterios de diseño para floculadores hidráulicos**

Como resumen de la presentación y los libros adquiridos podemos denotar:

El objetivo del floculador es proporcionar a la masa de agua coagulada una agitación lenta aplicando velocidades decrecientes, para promover el crecimiento de los floculos y su conservación.

Entre los floculadores más conocidos se puede citar la unidad de pantalla de flujo horizontal y vertical, los de medios porosos, floculadores de mallas entre otros.

Los parámetros y recomendaciones para el diseño de los floculadores son:

- Los gradientes de velocidad que optimizan e proceso normalmente varían entre 70 y 20 s<sup>-1</sup>.
- El gradiente de velocidad debe variar en forma uniforme decreciente, desde que la masa de agua ingresa a la unidad hasta que sale
- El tiempo de retención puede variar de 10 a 30 minutos, dependiendo del tipo de unidad y de la temperatura del agua.
- Se debe tener el mayor número posible de compartimientos o divisiones.
- El paso del mezclador al floculador debe ser instantáneo y se debe de evitar los canales y las interconexiones largas.
- El tiempo de retención y el gradiente de velocidad varían con la calidad de agua.
- Pueden operar indefinidamente sin riesgo de interrupciones, debido a que solo depende de la energía hidráulica.
- Por su bajo costo de construcción, operación y mantenimiento, se considera a los floculadores hidráulicos como una tecnología apropiada para países en desarrollo.

Como se indicó anteriormente, existen varios tipos de floculadores en uso, sin embargo, se consideran las unidades de pantalla como las más eficientes y económicas de todos los floculadores en uso actualmente.

a- Unidades de flujo horizontal:

- Recomendables para caudales menores a los 50 l/s.
- Se proyecta un mínimo de dos unidades
- Se pueden utilizar pantallas removibles de concreto prefabricado, fibra de vidrio, madera, plástico u otro material.
- Se recomienda usar un coeficiente de pérdidas de carga (K) en las vueltas entre 1.5 y 3.

b- Unidades de flujo vertical: En este tipo de unidades el flujo sube y baja a través de canales verticales formados por las pantallas.

- Son una solución para plantas de capacidad mayor a los 50 l/s.
- Se proyectan para profundidades de 3 a 4 metros, por lo que ocupan un área menor que las unidades de flujo horizontal.
- Los tabiques pueden ser de fibra de vidrio, prefabricado de concreto, de madera y otros.
- Las secciones de cada paso se calcularán para una velocidad igual a los 2/3 de velocidad en los canales.
- El gradiente de velocidad en los canales no deberá ser menor de 20 s<sup>-1</sup>.
- Para evitar la acumulación de lodos en el fondo y facilitar el vaciado de tanques, se dejará una abertura inferior en cada pantalla.
- Se debe tener especial cuidado con el ancho de la unidad para evitar la formación de espacios muertos y cortacircuitos.

#### **4.3.4.2 Criterios de diseño para decantadores laminares**

Como resumen de la presentación y los libros adquiridos podemos denotar:

Estos decantadores o sedimentadores pueden tratar caudales mayores en un área y estructura menor de la que requieren los sedimentadores convencionales y su eficiencia es superior, además no requieren energía eléctrica. Por lo que se consideran como la tecnología apropiada para países en desarrollo y para programas de mejoramiento de calidad de agua a menor costo de producción.

La diferencia básica entre los sedimentadores laminares y los sedimentadores convencionales es que los primeros trabajan con flujo laminar y los últimos con flujo turbulento.

Los principales parámetros de diseño para los sedimentadores laminares son:

- La velocidad de sedimentación de los flóculos que dependen de las características del agua cruda y de la eficiencia del pretratamiento.
- La carga superficial utilizada varía entre los 120 y 185 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d, con eficiencia de remoción de un 90%.
- Las unidades se pueden diseñar con Nr de hasta 500, sin obtener una deficiencia apreciable en la eficiencia alcanzada.
- Debido a la cantidad de módulos de los sedimentadores laminares, se precisa que los mismos sean de un material de bajo costo y muy resistentes a la permanencia bajo el agua.

Para lograr el mejor comportamiento y la máxima eficiencia de la unidad debemos mejorar el comportamiento hidráulico de la unidad, por lo que requerimos:

1. Zona de entrada: canal o tubería que distribuye de manera uniforme el agua floculada al módulo de placa.
2. Zona de sedimentación: mediante pantallas paralelas de lonas u otro material
3. Zona de salida: sistema de recolección del agua decantada mediante canales, tuberías perforadas o vertederos, dependiendo del tamaño o capacidad de la unidad.
4. Zona de depósito y extracción de lodos: Tolvas de almacenamiento continuas y múltiples.

Estas zonas son indispensables para el buen funcionamiento de los sedimentadores, sin embargo, actualmente se encuentran unidades nuevas diseñadas, sin una estructura de entrada apropiada, sin un sistema de extracción de lodos hidráulicos, con una longitud de recolección corta y las pocas canaletas de recolección se encuentran ahogadas.

#### **4.3.4.3 Teoría de Desinfección**

Como resumen de la presentación y los libros adquiridos podemos denotar:

La desinfección es el último proceso unitario del tratamiento de agua y tiene como objetivo garantizar la calidad de la misma desde el punto de vista microbiológico t asegurar que sea inocua para la salud humana.

en la desinfección se usa un agente físico o químico para destruir los microorganismos patógenos que pueden transmitir enfermedades utilizando el agua como vehículo pasivo.

En este proceso no se destruyen todos los organismos presentes en el agua por lo que se requiere de procesos previos que los eliminen mediante la coagulación, sedimentación y filtración.

Factores que influyen en la desinfección son:

- Número y tipo de microorganismos
- Naturaleza y concentración de desinfectante
- Temperatura del agua
- Calidad del agua
- Tiempo de contacto.

La desinfección del agua puede producirse mediante agentes físicos y químicos:

A) Agentes físicos:

- Sedimentación natural
- Coagulación, sedimentación y filtración.
- Filtración
- Calor
- La luz y los rayos ultravioleta.

B) Agentes químicos:

- Los halógenos como el cloro, bromo y yodo.
- El ozono
- El permanganato de potasio
- El agua oxigenada.

Un buen desinfectante actúa a temperatura ambiente, es de bajo costo, es de fácil obtención y anejo y no genera mal sabor o toxicidad.

El cloro es el desinfectante más común a utilizar en las plantas de tratamiento y esto se debe a que es barato y fácil de conseguir, sin embargo es corrosivo y si se aplica en exceso da un sabor desagradable por lo que se debe utilizar con cuidado aplicando siempre la dosis correcta.

#### **4.3.4.4 Criterios de diseño para unidades y equipos de dosificación de sustancias químicas**

Como resumen de la presentación y los libros adquiridos podemos denotar:

La dosificación de las sustancias debe efectuarse mediante equipos que aseguren la aplicación de una dosis exacta por unidad de tiempo. En el siguiente cuadro se muestra un resumen de dosificadores:

SECO	Volumétricos
	Gravimétricos
SOLUCIÓN	Gravedad
	Bombeo
	Boquillas
GAS	Solución al vacío
	Aplicación directa

Se recomienda que la sala de dosificación deba ubicarse lo más cerca posible de la unidad de mezcla rápida, para que la tubería de conducción de la solución no sea muy larga y no se incremente demasiado la pérdida de carga.

Debe considerarse varios tanques de operación de solución por cada sustancia química que se vaya a aplicar, además cada tanque debe tener un agitador para disolver el químico a utilizar.

#### **4.3.5 Vienes 19 de Octubre del 2018**

##### **4.3.5.1 Diseño de baterías de filtros de tasa declinante y lavado mutuo**

Como resumen de la presentación y los libros adquiridos podemos denotar:

Las baterías de filtros de tasa declinante y lavado mutuo se consideran como la tecnología apropiada debido a que:

- No requieren una carga hidráulica muy grande para operar.
- No tiene galería de tubos, ya que el transporte del agua se hace mediante canales.
- No se requiere tanque elevado ni equipo de bombeo para efectuar el retrolavado de un filtro.

Las baterías de filtros de tasa declinante y lavado mutuo están compuestas por:

1. Caja de filtros: podemos apreciarla del fondo hacia arriba, recibe el agua del retrolavado colectada por las canaletas secundarias.
2. Canal de distribución de agua decantada: alimenta la caja de los filtros a través de las válvulas de entrada de cada unidad.
3. Canal de desagüe de agua retrolavada: ubicada debajo del anterior, recibe el agua del retrolavado de los filtros.
4. Canal de aislamiento: tiene la función de aislar una unidad del resto de la batería, este canal se localiza contiguo a la caja del filtro y se comunica con este a través del canal del falso fondo en toda la sección.
5. Caja de interconexión de la batería: su función depende de la operación de filtración o de lavado de la unidad.

Criterios de diseño de la batería de tasa declinante y lavado mutuo:

- A) Geometría de la batería: El número mínimo de filtros es de cuatro unidades, de tal manera que tres toman el caudal de toda la batería al momento de lavar la unidad
- B) Hidráulica de lavado: para que la batería pueda auto lavarse, es necesario que al pasar el caudal de operación de la batera a través del medio filtrante se deba producir una velocidad de lavado necesaria para expandir entre 25 y 30 % el material filtrante, además el vertedero de salida debe proporcionar la carga hidráulica necesaria para compensar la pérdida de carga que se produce durante el proceso de lavado.
- C) Hidráulica del proceso de filtración: en este punto es necesario definir la carga hidráulica a fin de que los filtros estén preparados para operar con tasa declinante y que la carga hidráulica disponible en el sistema en el momento en que el filtro este limpio no sea mayor a 1,5.

Algunas de las ventajas de estos sistemas es que se lavan de forma alternando los filtros y eso hace que se tenga mayor eficiencia en el sistema porque todos tienen

diferentes niveles de colmatación y siempre se filtra la misma calidad del agua a lo largo de la carrera.

#### **4.3.5.2 Criterios para la puesta en marcha y operación normal de la planta**

Como resumen de la presentación y los libros adquiridos podemos denotar:

Es necesario realizar una serie de operaciones antes de la puesta en marcha de la planta, por lo anterior se requiere seguir las siguientes actividades:

1. Inspección preliminar del sistema
2. Calibración de los dosificadores y del medidor de caudal
3. Llenado de la planta simultáneamente con la desinfección de las estructuras y el inicio de la dosificación.
4. Preparación de las soluciones de coagulante, cal polímeros e hipoclorito.
5. Lavado de los filtros
6. Inicio de la poscloración
7. Instalación de la tasa declinante y control de la calidad de agua producida
8. Inicio del abastecimiento al sistema de distribución.

Una vez concluida la operación de la puesta en marcha, la planta entra en la etapa denominada operación normal. La cual tiene una serie de actividades que son importantes a considerar, las cuales son:

- Control de procesos: medición de caudal, medición de turbiedad color, pH, alcalinidad y color residual.
- Preparación de soluciones: ajuste de dosificación, lavado de filtros, control de calidad.

En general la operación normal comprende todas las actividades destinadas a que la planta produzca el caudal para el cual fue diseñada con la calidad estipulada por las normas correspondientes.

La planta de tratamiento debe ser un ejemplo de limpieza y mantenimiento por lo anterior se debe contratar personal adecuado u capacitado, se debe brindar el

adecuado mantenimiento a los diferentes ambientes del sistema y se debe contar con un adecuado suministro de repuesto y materiales.

#### **4.3.5.3 Criterios de diseño para casetas de cloración**

Como resumen de la presentación y los libros adquiridos podemos denotar:

La casa química comprende básicamente las instalaciones de almacenamiento, dosificación y laboratorios de control de los procesos de la planta.

La sustancia que se emplean en el tratamiento del agua puede estar en polvo, trituradas o en solución. Por lo que al proyectar los almacenes se debe tomar en cuenta la forma en que se van a utilizar estas sustancias, de modo que las instalaciones ofrezcan las facilidades para la conservación y manejo del producto.

Para determinar la dimensión de las instalaciones, es necesario tener en cuenta la ubicación de la caseta en la planta y las características del almacén que varían de acuerdo a las dimensiones de la planta de tratamiento y el producto que se vaya a utilizar en la misma para la cloración.

En plantas pequeñas y medianas el almacén debe estar contiguo a la sala de dosificación para compartir las instalaciones y facilitar la labor del operador. El volumen de material por almacenar se calcula en función de la dosis óptima promedio.

Se debe tener el área necesaria a para apilar el material. Deberá tener en cuenta el espacio para los pasillo o corredores que hay que dejar entre las rums. Y utilizar el material por orden de llegadas. El ancho de los corredores dependerá de la forma de transferencia del material a la sala de dosificación.

#### **4.3.5.4 Manejo de lodos en PFR**

Como resumen de la presentación y los libros adquiridos podemos denotar:

Tras la potabilización del agua se generan lodos cuales contribuyen a la contaminación ambiental, pueden dañar la salud humana y actualmente existen leyes que controlan su manejo y disposición.

La estimación de la cantidad de lodos que se producen va en función de los sólidos suspendidos totales, el caudal, los polímeros y la cal deshidratada. Por lo anterior se

puede estimar que los lodos son el 5% del volumen del agua producida con una concentración de sólido de un 1%.

No se recomienda recircular los lodos producidos o recuperados por temas de salud, ya que se podría estar recirculando parásitos, bacterias y virus que podrían generar problemas en la salud humana.

Existen muchos métodos de estudio para el tratamiento de estos lodos que se producen sin embargo por los factores mencionados anteriormente, actualmente los Lechos de secado son el mecanismo de tratamiento de lodos más utilizado en varios países como Costa Rica y Perú.

### **4.3.6 Lunes 22 de Octubre del 2018**

#### **4.3.6.1 Taller de diseño: Desarrollo del anteproyecto de una planta de filtración rápida completa**

Como resumen del diseño desarrollarlo en clases se puede indicar:

Se plantea inicialmente el diseño de una planta de tratamiento pequeña de Q igual a 30 l/s , además se utilizan una serie de hojas de cálculo en Excel entregadas por parte de los encargados de impartir el curso para ir determinando las dimensiones de las secciones de mezcla rápida, floculador, sedimentador, filtros, cámara de cloración, entre otros.

Se van desarrollando los siguientes pasos:

1. Análisis de datos iniciales: se hizo un análisis de los resultados obtenidos de las pruebas de jarras realizadas los días 15 y 16 de Octubre con concentraciones y dosificaciones determinadas a través de la utilización de los gradientes de velocidad altos y bajos.

Lo que permitió determinar que con los gradientes bajos se obtiene una tasa de sedimentación mayor porque se forman flóculos más grandes y la turbiedad final del proceso puede andar alrededor de las 2 UNT

2. Cálculos de sedimentadores de placas: con el caudal dado y la tasa de sedimentación obtenida, se configura la hoja electrónica dada y se determina las dimensiones de los sedimentadores.
3. Cálculo del canal central: este canal conecta los floculadores con el sedimentador en donde se establece que la última sección de comunicación debe ser igual en dimensiones y en pendiente para que el recorrido del agua no presente un cambio abrupto en su curso y no se dé un rompimiento de flóculos.

4. Calculo del canal de distribución a los sedimentadores: es donde se debe considerar que el ingreso de agua por la cantidad de compuertas dependiendo de la cantidad de sedimentadores, debe ser igual con un gradiente de 15 a 20 s-1.
5. Floculadores verticales de 4 tramos: se debe determinar la pendiente del fondo de los mismos para que sección permita una sedimentación en aquellos floculos que son de tamaño importante. Además, en esta sección se determina el largo de las láminas permitiendo el traslape de las mismas para que no se produzcan espacios muertos donde el agua se almacene y no siga el proceso de la planta de tratamiento.
6. Mezcladores: para esta parte se determina el tipo de mezclador a utilizar como lo es el canal y además se determina la concentración y dosis de sulfato de aluminio de que se debe aplicar al agua cruda que ingresa a la planta por medio del difusor aplicado en el punto ideal del canal en donde el agua produce el resalto hidráulico.
7. Calculo de las tolvas y colectores de lodos: se determina el diámetro de ingreso del agua floculada, la altura que debe haber entre esta tubería de ingreso y la tubería de ingreso de lodos a la tolva, misma que a su vez se requiere sea purgada de manera hidráulica ya que la sección no es apta para que funcionarios de la planta ingresen a realizar trabajos.  
  
Además, se determina la altura que va a haber entre las láminas del sedimentador y el tubo de recolección de agua sedimentada, por lo que con lo anterior se puede determinar la altura total que requiere el sedimentador para su debida operación.
8. Calculo de filtros: se dimensiona el área de los filtros además se requiere graficar los datos del medio filtrante para determinar las capas y material (arena y antracita) que se requieren para que la eficiencia del filtro sea la adecuada. También se debe considerar las perdidas en las válvulas de compuertas, medio filtrante y vertido, mismas que deben ser consideradas para que el agua siga el curso adecuadamente.
9. Dosificaciones: la concentración de la solución depende del volumen de caudal que se va a manejar, por lo que a mayor volumen mayor porcentaje de concentración.

### **4.3.7 Martes 23 de Octubre del 2018**

#### **4.3.7.1 Continua Taller de diseño: Desarrollo del anteproyecto de una planta de filtración rápida completa**

Se realizó el mismo procedimiento expuesto anteriormente, solo que esta vez se cambió la propuesta de los floculadores los cuales fueron de flujo horizontal, por lo anterior se realizaron los cálculos nuevamente en las hojas de cálculo facilitadas.

### **4.3.8 Miércoles 24 de Octubre del 2018**

#### **4.3.8.1 Visita técnica: Planta de tratamiento de Agua del Consorcio Agua Azul. Planta de tecnología apropiada de 2,5 m<sup>3</sup>/s de capacidad.**

Se realizó una visita a la planta de tratamiento del Consorcio Agua Azul, la cual trata agua superficial y utiliza aguas subterráneas de pozos para completar su producción diaria según sea la época del año. El caudal de operación de la planta está para operar entre 2.0 y 2.5 m<sup>3</sup>/s. En época seca se utilizan los 18 pozos que tienen perforados y en época lluviosa se utiliza el agua que se recarga del río a causa de las lluvias propias de la época.

La siguiente figura se muestra una vista panorámica de la planta de tratamiento. En primera instancia se puede observar los dos tanques de compensación (lagunas), al fondo las de fosa de secado de lodos y al centro (mano izquierda) se ubica en sí las estructuras de los floculadores, sedimentadores y filtros rápidos.



En esta visita se pudo realizar la observación en campo de cada una de las secciones que conforman la planta, como por ejemplo:

1. Ellos tienen cámaras de entrada donde se realiza la pre-cloración, esto dependiendo de la calidad del agua cruda que estén captando.
2. Una vez ingresado a la planta se procede con la mezcla rápida en donde se realiza la aplicación del coagulante en el resalto hidráulico producido por unas mamparas de concreto construidas en la boca del canal Parshall, la aplicación de concentración se realiza por medio de un tubo de PVC con orificios espaciados de igual manera a lo largo del tubo. Se cuenta con 4 canales de ingreso.

En esta sección se encuentra el dosificador de sulfato de aluminio el cual se dosifica por medio de vertederos triangulares. Sin embargo, la sustancia viaja por medio de tubería de PVC desde un área de almacenamiento construida a un costado de la planta hasta los vertederos donde se prepara la solución a aplicar al agua.

3. Pasado esta sección se llega a los floculadores verticales que tienen pantallas de concreto. Estos son 4 unidades con una cantidad determinada de pantallas. Como es vertical algunas pantallas se encuentran casi tocando el piso sin embargo siempre se debe dejar el espacio determinado para que los lodos puedan circular a la hora de la limpieza del área sin inconveniente.
4. Se procede a los sedimentadores laminares de 4 unidades, que utilizan láminas de fibra de vidrio corrugadas y para la recolección del agua sedimentada tubería de PVC con orificios debidamente separados a lo largo de su longitud.
5. Posterior están los filtros, los cuales son 16 unidades, moduladas en múltiples de 4 como recomienda la norma de criterios de diseño. Estos filtros están contruidos con su medio filtrante compuesto por arena antracita.
6. Por último está el canal de recolección por medio de vertederos triangulares que conduce el agua tratada por una tubería hasta las cámaras de contacto con cloro. A un costado de la planta se tiene el área de almacenamiento y dosificación de cloro.
7. Además, esta planta tiene el área de lechos de secados donde se descarga el agua sedimentada, y filtrada para el asentamiento respectivo de los lodos y su posterior manejo.

En la época en la que la planta no se encuentra operando, se procede a dar mantenimiento a las áreas que lo requiere, revisar equipos, y mejorar aquellas deficiencias de la planta, que puedan estar generando problemas en la potabilización del agua. Esto para que el proceso de potabilización del agua sea lo mejor posible, asegurándole al consumidor recibir agua en sus viviendas de primera calidad.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 5.1 Podemos concluir del curso de "Diseño de plantas de tratamiento de filtración rápida (PFR) de Tecnología Apropriada" que se requiere contar con un historial de calidad de agua adecuado para el diseño e implementación de las plantas de tratamiento con filtración rápida. En el Perú por ejemplo, se establece como mínimo un ciclo hidrológico de registros de la calidad del agua y pruebas de tratabilidad para la elaboración de los diseños de las plantas de tratamiento.
- 5.2 Se requiere como mínimo el seguimiento de las siguientes variables en la calidad del agua durante el ciclo hidrológico para el tratamiento de la turbiedad y color con la planta de tratamiento:
- Turbiedad;
  - Sólidos solubles e insolubles;
  - Color;
  - Olor y sabor;
  - Temperatura
  - pH.
- 5.3 De acuerdo con lo aprendido la definición de la temperatura es muy importante durante el diseño de la planta, ya que esta afecta varios procesos de tratamiento. Dado lo anterior, el seguimiento de la temperatura del agua en el cauce natural del río es indispensable. Esta labor se recomienda en el caso de las ASADAS que lo realice esta mediante la supervisión de la SubGerencia de Sistemas Comunales.
- 5.4 En el diseño se estableció que la utilización de tanques de compensación son muy útiles a la hora de garantizar un caudal constante a la planta, así mismo disminuyen la turbiedad a la entrada de la planta por servir como sedimentadores también.
- 5.5 La automatización de la planta es esencial sobre en plantas grandes (mayores a 1 m<sup>3</sup> de capacidad), ya que facilitan la operación de la misma. Esto se puede lograr mediante sistemas SCADA y telemetría.
- 5.6 En lo que respecta propiamente al Departamento de Estudios Básicos y Diseños de la Subgerencia de Sistemas Comunales, se considera que con lo visto en el curso se debe analizar la implementación de los siguientes aspectos en los diseños:
- Valorar la forma actual en que construye los registros históricos con que se realizaran los diseños de las futuras Plantas de Filtración Rápida. En este sentido se recomienda que la base de datos sea robusta (al menos un ciclo hidrológico de registros tanto en verano como en invierno), ya que esta información es clave en la definición del diseño de la planta.

- Tomar en cuenta en los diseños el uso de tanques de compensación para mejorar la calidad del agua a la entrada de la planta y garantizar un caudal constante.
- Incluir en el diseño el uso de fosa de secado para el manejo de los lodos producidos en la planta
- Realizar los diseños de las plantas bajo criterios de resiliencia de tal forma que se reduzcan al máximo los riesgos en una mala operación de las plantas.
- Valorar exhaustivamente el nivel de gestión de la ASADA a la que se le asignara la tarea de administrar una planta de filtración rápida. Ya que el proceso operativo de la planta requiere de personal capacitado, uso y compra de químicos. Lo anterior hace que el proceso de operación y mantenimiento sea más complejo y oneroso que un sistema convencional de abastecimiento.

5.7 Respecto a los objetivos del viaje se puede decir que en cuanto al aprendizaje del proceso de diseño, el curso cumplió a cabalidad con lo que se pretendía.

En cuanto al proceso de evaluación de plantas y el proceso operativo, las metas no se cumplieron, básicamente porque el curso no estaba diseñado para esto. Se consultaron varios aspectos de la evaluación de plantas, como la forma de medición de las expansiones de los lechos de los medios filtrantes en el filtro, pero se nos indico por parte de los instructores del curso que ese tema y otros son parte del CURSO REGIONAL DE EVALUACIÓN Y OPERACIÓN DE PLANTAS DE FILTRACIÓN RÁPIDA. Este curso se imparte anualmente por El Colegio de Ingenieros del Perú, a través del Consejo Departamental de Lima y del Capítulo de Ingeniería Sanitaria y Ambiental y tiene como objetivos:

- Evaluar los parámetros de cada uno de los procesos que conforman una planta de tratamiento de agua del tipo de filtración rápida (PFR), las características de las estructuras, su comportamiento hidráulico y eficiencia.
- Operar y/o supervisar adecuadamente una planta de tratamiento de agua, con énfasis en sistemas de tecnología apropiada para América Latina.
- Incluir estas materias en sus syllabus, en el caso de docentes.
- Actuar como coordinadores y/o instructores locales en cursos similares.
- Adiestrar al personal de nivel técnico.

**Dado que el curso de evaluación es la continuación didáctica del curso de diseño se recomienda que las personas que han asistido al curso de diseño, también asistan al curso de evaluación, con el fin de que los profesionales se formen una visión completa de lo que representa la aplicación de la tecnología de la filtración rápida.**

## 6. OBSERVACIONES FINALES

En resumen, con lo visto en el curso se puede decir que hemos adquirido los conocimientos básicos para el diseño de una planta de tratamiento de filtración Rápida (PFR).

Los aspectos para la evaluación de las plantas y el proceso operativo de las mismas quedo fuera del alcance del curso en el que se participo, de ahí las recomendaciones de seguir con el proceso de capacitación y la participación en el próximo curso que precisamente toca y profundiza en este tema.

En el caso de los acueductos administradas por ASADAS y en cuyos sistemas se incluya la construcción de plantas de filtración rápida, se recomienda:

- Valor exhaustivamente la capacidad operativa de la ASADA.
- Valorar el uso de tanques de compensación y uso de fosa de secado para el manejo de los lodos producidos en la planta. En este punto es de suma importancia no mezclar el agua de limpieza o purga provenientes de los filtros y de los sedimentadores, ya que manejan cargas muy distintas de concentración de sólidos. Así mismo, se debe tomar en cuenta que siempre deben ser dos unidades para que las mismas se puedan alternar en su uso con el fin de que mientras una recibe el agua de purga y limpieza la otra «descansa» bajándose el nivel del agua hasta la separación con los lodos espesados, que, a su vez, se dejarán secar en forma natural posteriormente y así sucesivamente.
- Capacitar correctamente a los operadores de plantas en especial al capataz o quien dirige y administra la planta de tratamiento, con el fin de que todos los procesos en la misma se ejecuten en forma correcta.
- Tomar en cuenta que la operación de la planta de tratamiento es las 24 horas del día con 3 turnos de al menos 8 horas. Esto podría ser una limitante en los acueductos administrados por una ASADA debido a los costos operativos que implica el sostener el personal requerido por la planta.

Finalmente se adjunta CD con el fin de replicar los conocimientos adquiridos mediante la transferencia de conocimiento recibida, con la siguiente información:

- Informe del curso recibido.
- Video de la visita a la planta de tratamiento de Filtración Rápida del Consorcio Agua Azul. Lima - Perú. Explicación en la caseta de mando.

## **7. ANEXOS**

# 1\_TEMARIO DEL CURSO

# Curso Regional de Diseño de Plantas de Filtración Rápida (PFR) de Tecnología Apropiada

del 15 al 24 de octubre de 2018

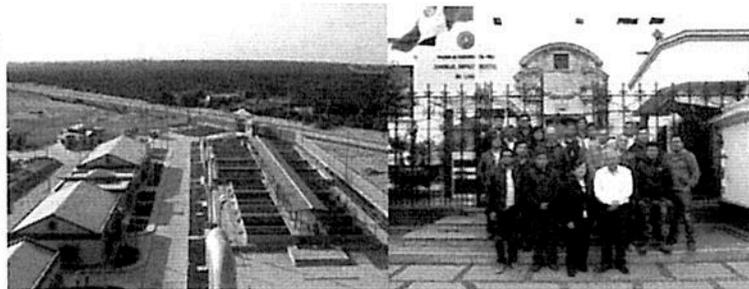
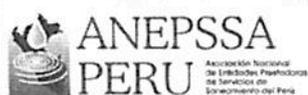
Lima – Perú

Institución ofertante



PFR Curumuy: 660 l/s. Piura - Perú

Auspiciador



PFR Curumuy  
Caudal: 660 l/s  
Piura – Perú

Participantes curso diseño  
octubre 2017  
Lima - Perú

CURSO REGIONAL:  
**DISEÑO DE PLANTAS DE FILTRACIÓN RÁPIDA (PFR) DE  
TECNOLOGÍA APROPIADA**

Del 15 al 24 de octubre de 2018

Lima - Perú

El Colegio de Ingenieros del Perú, a través del Consejo Departamental de Lima y del Capítulo de Ingeniería Sanitaria y Ambiental ofrecerá el curso regional de "Diseño de Plantas de Filtración Rápida (PFR) de Tecnología Apropriada".

**INFORMACIÓN GENERAL**

**OBJETIVO**

Al finalizar el curso los participantes estarán en capacidad de:

- Elaborar proyectos hidráulicos de nuevas plantas de tratamiento de agua y proyectos de rehabilitación y mejoramiento utilizando tecnología apropiada para América Latina.
- Complementar su formación como evaluadores de PFR.
- Incluir estas materias en sus syllabus, en el caso de docentes.
- Actuar como coordinadores y/o instructores locales en cursos similares.

**REQUISITOS**

- Ser ingeniero sanitario, ambiental, civil o químico, con especialización en ingeniería sanitaria o de otra especialidad con experiencia mínima de dos años en el área de tratamiento de agua para consumo humano.
- También pueden participar docentes en el área de ingeniería sanitaria y bachilleres en ingeniería sanitaria y ambiental.

**TEMARIO**

- Contaminantes de las aguas superficiales.
- Breve síntesis de la teoría de los procesos que componen una PFR.
- Metodología de laboratorio para determinar los parámetros óptimos de diseño de los procesos.
- Criterios de diseño de las unidades que conforman una planta.
- Criterios para la puesta en marcha y operación de la PFR.
- Desarrollo de un anteproyecto de PFR.

**DURACION**

- 8 días útiles, con una intensidad de 8 horas diarias

**NÚMERO DE PARTICIPANTES**

30 participantes.

**Nota:** Los participantes deberán traer sus laptops para los días del taller de diseño, que serán los días del 22 y 23 de octubre.

### LIMITE DE INSCRIPCIÓN

28 de setiembre de 2018. Para inscripción extemporánea consultar al Ing. Víctor Maldonado Yactayo al correo [vmaldonado@ingenieriasanitaria.com.pe](mailto:vmaldonado@ingenieriasanitaria.com.pe) o [vmaldonado@uni.edu.pe](mailto:vmaldonado@uni.edu.pe)

### COSTOS

S/. 2000,00 (Dos mil con 00/100 Soles - Incluido IGV) o el equivalente en dólares americanos al tipo de cambio del día de pago.

Pago sujeto a detracción para los participantes nacionales que deseen factura.

Como referencia, el tipo de cambio a diciembre de 2016: 1 US\$ = 3.40 Soles.

El costo incluye los manuales del curso. Se proporcionarán manuales de teoría (Tomo I y II) y el Manual de Diseño de plantas de filtración rápida.

**Nota:** El costo arriba indicado no incluye los almuerzos.

### FORMA DE PAGO

Depósito en Nuevos Soles en Cuenta Corriente BCP N° 193-1473005-0-37

Código interbancario: 00219300147300503715

Depósito en Dólares US \$ en Cuenta Corriente BCP N° 193-1478315-1-83

Código interbancario: 00219300147831518311

Cta. Cte. de detracción en el Banco de la Nación. 0000-433217. Porcentaje detracción: 10%

También se puede hacer el pago directamente en Caja del Consejo Departamental de

Lima – CIP. Calle Guillermo Marconi 210 – San Isidro.

Para el caso de extranjeros, previa confirmación de participación al curso, pueden realizar el pago en efectivo el primer día del curso. También pueden hacer la transferencia en dólares desde el extranjero. Código SWIST: BCPLPEPL. Nombre de banco: Banco de Crédito del Perú. Beneficiario: Consejo Departamental de Lima – CIP. Deberá comunicar deposito al [vmaldonado@ingenieriasanitaria.com.pe](mailto:vmaldonado@ingenieriasanitaria.com.pe) o [vmaldonado@uni.edu.pe](mailto:vmaldonado@uni.edu.pe)

### FACTURACION

Razón Social: Consejo Departamental de Lima – CIP

RUC: 20173173181

Dirección: Calle Guillermo Marconi 210 - San Isidro. Lima.

### ORGANIZAN

Consejo Departamental del Lima del Colegio de Ingenieros del Perú. CDL – CIP. Capítulo de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.

### LUGAR

Las clases se desarrollarán en el local del Consejo Departamental de Lima del Colegio de Ingenieros del Perú. Lima - Perú. Calle Guillermo Marconi 210 – San isidro

### CERTIFICACION

Colegio de Ingenieros del Perú. Consejo Departamental de Lima. Capítulo de Ingeniería sanitaria y Ambiental. Lima - Perú. Asistencia mínima 80%

#### INFORMES E INSCRIPCIONES

- **Ing. Víctor Maldonado Yactayo**  
Teléfono: (51) 999-659-569  
E-mail: [vmaldonado@ingenieriasanitaria.com.pe](mailto:vmaldonado@ingenieriasanitaria.com.pe) ; [vmaldonado@uni.edu.pe](mailto:vmaldonado@uni.edu.pe)
- **Ing. Lidia Cánepa de Vargas**  
E-mail: [lidiadevargas@yahoo.com](mailto:lidiadevargas@yahoo.com)
- Internet: <http://www.ingenieriasanitaria.com.pe>

#### INFORMACION ADICIONAL PARA EXTRANJEROS

##### TRASLADO DEL AEROPUERTO

Indicar número del vuelo, línea aérea y hora de llegada al Aeropuerto Internacional Jorge Chávez para traslado al hotel, enviar estos datos al E-mail: [vmaldonado@uni.edu.pe](mailto:vmaldonado@uni.edu.pe); [vmaldonado@ingenieriasanitaria.com.pe](mailto:vmaldonado@ingenieriasanitaria.com.pe) o al Teléfono (51) – 999-659569. RPM: #999-659569. ESTE SERVICIO ES DE CORTESÍA.

##### TARIFA DE TRASLADO REFERENCIAL

Como referencia indicamos que el costo del traslado, del Aeropuerto Jorge Chávez al distrito de Miraflores es del orden de \$20 para aquellas personas que no se interesen por el servicio anterior.

#### INFORMACIÓN REFERENCIAL DE HOSPEDAJE

##### Casa de Huéspedes Porta

- Dirección: Calle Porta 669 Miraflores - Lima - Perú
- Teléfonos: +(511) 2420505
- E-mail: [info@hostalporta.com](mailto:info@hostalporta.com)
- Web: <http://www.hostalporta.com>

##### Hostal Montefino

- Dirección: Almirante Manuel Villavicencio 843, Lince. Lima - Perú
- Teléfono: +(511) 4418575
- E-mail: [contacto@hostalmontefino.com](mailto:contacto@hostalmontefino.com)
- Web: <http://www.hostalmontefino.com>

#### INFORMACION PARA HACER TURISMO

En la Web siguiente puede encontrar información para realizar turismo en Lima y dentro del país. Nos puede escribir si desea información o ayuda adicional.  
<http://www.promperu.gob.pe/>

# CURSO REGIONAL DE DISEÑO DE PLANTAS DE FILTRACIÓN RÁPIDA DE TECNOLOGIA APROPIADA

Del 15 al 24 de octubre de 2018

## CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

### AGENDA PRIMERA SEMANA

#### Lunes 15 octubre

08:00 - 08:30	Inscripción
08:30 - 08:45	Inauguración
08:45 - 10:45	Contaminantes fisicoquímicos de las aguas superficiales y normas de calidad <b>Ing. Víctor Maldonado</b>
10:45 - 11:00	Café
11:00 - 12:00	Contaminantes microbiológicos de las aguas – Bacteriología. <b>Blga. Carmen Vargas García</b>
12:00 - 13:00	Contaminantes microbiológicos de las aguas – Parasitología. <b>Blga. Margarita Aurazo</b>
13:00 - 14:00	Almuerzo
14:00 - 18:00	<b>Laboratorio 1:</b> Determinación de parámetros de dosificación <b>Ing. Víctor Maldonado</b> <b>Ing. Arturo Zapata</b>

#### Martes 16 octubre

08:30 - 10:30	Teoría de la coagulación. <b>Ing. Víctor Maldonado</b>
10:30 - 11:00	Café
11:00 - 13:00	Teoría de mezcla rápida y floculación. <b>Ing. Lidia Cánepa de Vargas</b>
13:00 - 14:00	Almuerzo
14:00 - 15:30	Teoría de decantación y tipo de unidades. <b>Ing. Víctor Maldonado</b>
15:30 - 17:30	<b>Laboratorio 2:</b> Determinación de parámetros de floculación – decantación, filtración directa. <b>Ing. Víctor Maldonado</b> <b>Ing. Arturo Zapata.</b>

#### Miércoles 17 octubre

08:30 - 10:30	Teoría de filtración y tipo de unidades. <b>Ing. Víctor Maldonado.</b>
10:30 - 11:00	Café
11:00 - 13:00	Tipos de plantas y criterios de selección. <b>Ing. Lidia Cánepa de Vargas</b>
13:00 - 14:00	Almuerzo
14:00 - 15:30	Criterios de diseño para mezcladores hidráulicos. <b>Ing. Víctor Maldonado.</b>
15:30 - 16:00	Café
16:00 - 17:30	Laboratorio N°3. Ensayo demanda de cloro. <b>Blga. Carmen Barzola</b>

**Jueves 18 octubre**

- 08:30 - 10:30 Criterios de diseño para floculadores hidráulicos.  
**Ing. Lidia Cánepa de Vargas**
- 10:30 - 11:00 Café
- 11:00 - 13:00 Criterios de diseño para decantadores laminares.  
**Ing. Lidia Cánepa de Vargas.**
- 13:00 - 14:00 Almuerzo
- 14:00 - 16:00 Teoría de la desinfección.  
**Ing. Víctor Maldonado.**
- 16:00 - 16:30 Café
- 16:30 - 18:00 Criterios de diseño para unidades y equipos de dosificación de sustancias químicas  
**Ing. Víctor Maldonado**

**Viernes 19 octubre**

- 08:30 - 10:30 Diseño de baterías de filtros de tasa declinante y lavado mutuo.  
**Ing. Lidia Cánepa de Vargas.**
- 10:30 - 11:00 Café
- 11:00 - 13:00 Criterios para la puesta en marcha y operación normal de la planta.  
**Ing. Lidia Cánepa de Vargas**
- 13:00 - 14:00 Almuerzo
- 14:00 - 15:30 Criterios de diseño para casetas de cloración.  
**Ing. Víctor Maldonado.**
- 15:30 - 16:00 Café
- 16:00 - 17:00 Manejo de lodos en las PFR.  
**Ing. Víctor Maldonado.**

**AGENDA SEGUNDA SEMANA**

**Lunes 22 octubre**

- 08:30 - 13:00 **Taller de diseño:** Desarrollo del anteproyecto de una planta de filtración rápida completa.  
**Ing. Lidia Cánepa de Vargas**
- 13:00 - 14:00 Almuerzo
- 14:00 - 16:30 Continúa **Taller de Diseño:** Desarrollo del anteproyecto de una planta de filtración rápida completa.  
**Ing. Víctor Maldonado.**

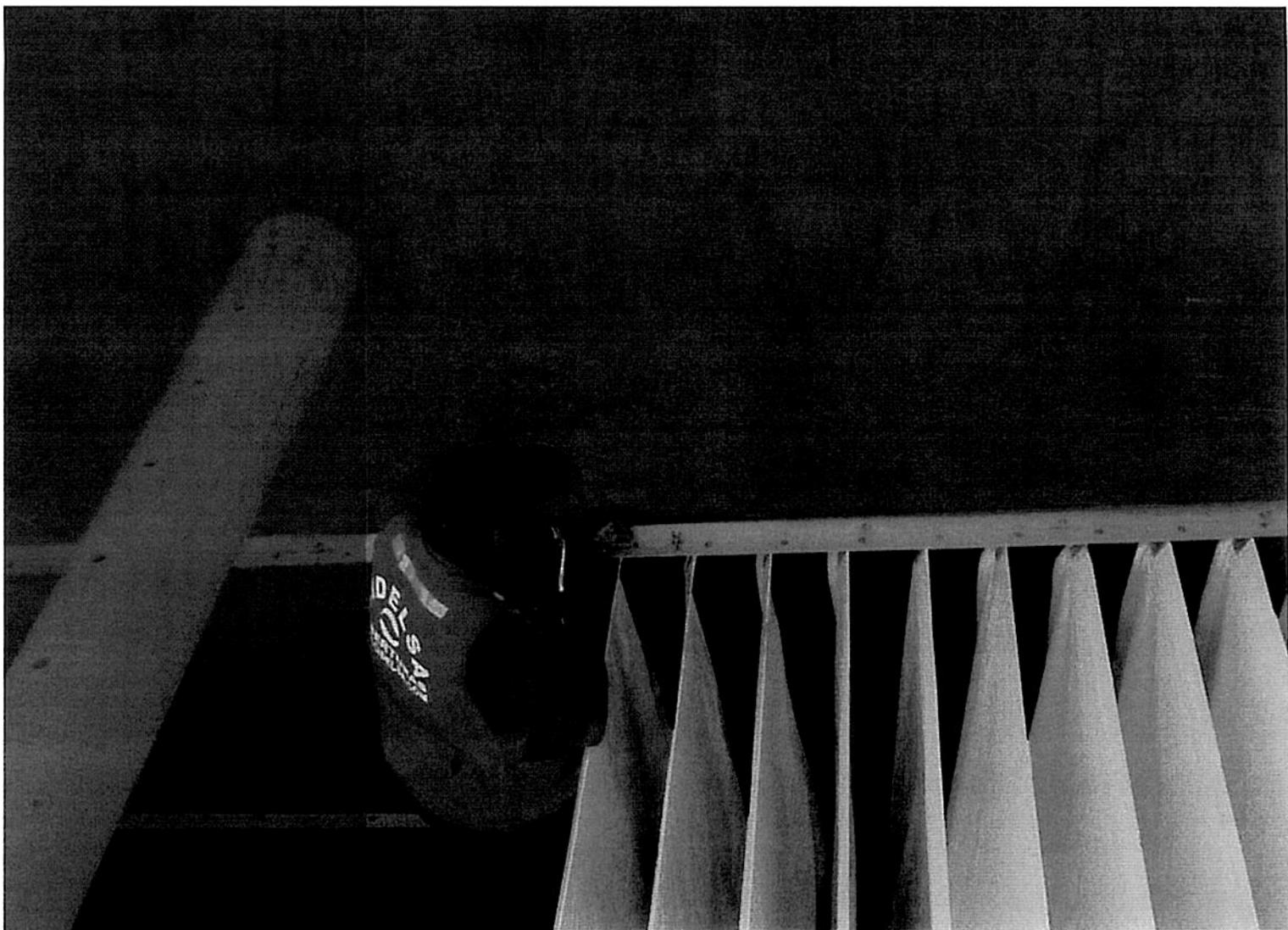
**Martes 23 octubre**

- 08:30 - 13:00 Continúa **Taller de Diseño:** Desarrollo del anteproyecto de una planta de filtración rápida completa  
**Ing. Lidia Cánepa de Vargas**
- 13:00 - 13:30 Clausura

**Miércoles 24 octubre**

- 08:30 - 12:00 **Visita técnica:** Planta de tratamiento de Agua del Consorcio Agua Azul. Planta de Tecnología Apropriada de 2,5 m<sup>3</sup>/s de capacidad.  
**Ing. Víctor Maldonado.**

## 2\_ INFORMACION TECNICA LAMINAS PARA SEDIMENTADORES Y FLOCULADORES



## PANELES SEDIMENTADORES.

Paneles de membranas reforzadas para sedimentación laminar



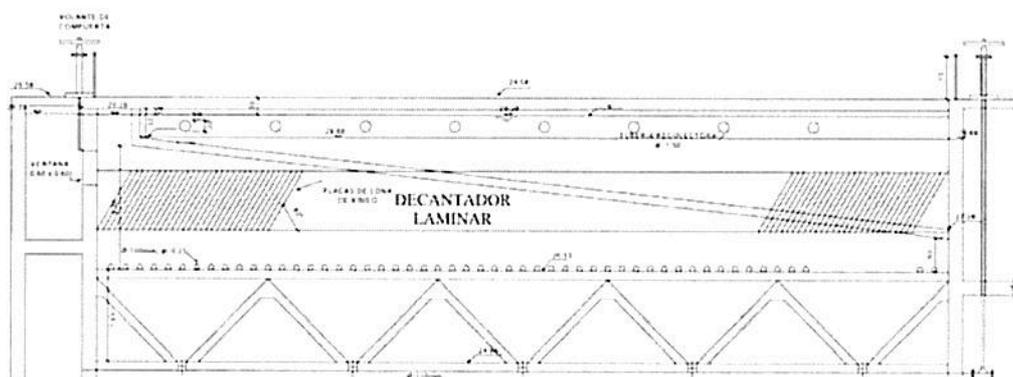


## PANELES SEDIMENTADORES ■

Cidelsa pone a su alcance la implementación de decantadores laminares con paneles sedimentadores hechos de membrana reforzada.

### COMPONENTES

- Paneles de forma rectangular hechos de membranas sintéticas reforzadas (tejido de poliéster de alta tenacidad cubierto por ambos lados por películas de PVC flexible) con dispositivos de sujeción en sus cuatro esquinas.
- Ángulos metálicos que se fijarán a muros del canal decantador, a los cuales se sujetarán los paneles.
- Elementos de amarre y tensión entre paneles y ángulos.
- Las medidas de los paneles y el espaciamiento entre ellos serán los que determine el proyecto. No hay obligación de adaptarse al clásico 240 cm de largo de las planchas rígidas.



## APLICACIONES

Plantas de tratamiento de agua potable, industrial, agrícola o minera.

- Plantas nuevas.
- Transformación de plantas convencionales.
- Reemplazar planchas de asbesto - cemento.



## VENTAJAS

- Fácil transporte, los paneles pueden doblarse o enrollarse.
- Rapidez de instalación y desmontaje.
- Indestructibles en las condiciones normales de operación.
- No contaminan el agua ni afectan la salud de los operadores (como las planchas de asbesto-cemento).
- No permiten el anclaje de lodos en su superficie.
- Fácil mantenimiento (simple chorro de agua con manguera).

## SOPORTE

- Soporte gratuito en el diseño.
- Fabricación de los paneles y accesorios (placas, ángulos).
- Instalación.



## ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA MEMBRANA

La membrana sintética reforzada utilizada es una "tela técnica" (tejido sintético de alta tenacidad, recubierto por ambos lados con polímeros).

### TEJIDO

Filamentos de poliéster de 1,000 deniers. Tres hilos por centímetro en urdimbre y en trama.

### RECUBRIMIENTO

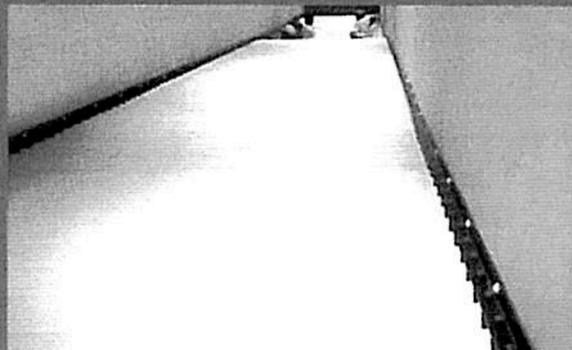
Películas de PVC de formulación especial con aditivos que les permiten resistir:

- La acción de los aceites, grasas, ácidos, álcalis y otros agentes químicos (excepto solventes del PVC).
- Temperaturas ambientes extremas (-40 a 70 °C).
- Los rayos UV del sol.
- La exposición prolongada a la intemperie.
- El contacto prolongado con lodos.
- El ataque de hongos.

Además, cuenta con auto-extintor de llama, no tiene aditivos que contengan Plomo o Cadmio (como las membranas comunes) y son acondicionadas para sellarse por alta frecuencia.

### CARACTERÍSTICAS

Espesor	0.60 mm.
Peso	690 gr/m <sup>2</sup>
Resistencia a la Tensión	100 Kg/ 5 cm
Resistencia al Desgarre	20 Kg
Elongación	30%
Resistencia al Frío	- 40 °C
Resistencia al Calor	+ 70°C



### 3\_PRACTICA DETERMINACION DEL CLORO RESIDUAL

## **Determinación de Cloro Residual por el Método del DPD**

SEDAPAL – LA ATARJEA

Av. Ramiro Priale 210 El Agustino, Lima 10.

Telf. (511) 317 3587 - 998 986892, E-mail: [cbarzola@sedapal.com.pe](mailto:cbarzola@sedapal.com.pe)

### **1. GENERALIDADES**

La cloración del agua constituye una práctica sanitaria imprescindible, tanto a nivel de los servicios de abastecimiento público de aguas, como en la práctica de la cloración a otras escalas, incluida la hospitalaria, en la que actualmente ha adquirido una gran importancia como consecuencia de la aparición de brotes de legionelosis.

Cualquier técnica que se utilice para medir cloro residual en el agua debe ser capaz de diferenciar

entre cloro residual libre (CRL) y cloro residual combinado (CRC). Cuando se realiza la cloración, sólo en las aguas que presentan CRL se ha satisfecho su demanda de cloro, y existen garantías de una adecuada desinfección.

La cantidad de cloro que existe en una muestra de agua, se conoce como cloro residual y su determinación se realiza en el laboratorio usando métodos analíticos y de campo, por medio de comparadores colorimétrico visuales o analizadores digitales, en todos los casos se puede determinar el cloro residual en sus formas de cloro total y/o libre.

### **2. FUNDAMENTO**

El N,N-diethyl-p-phenylenediamina (DPD) es usado como un indicador en el procedimiento de titulación con sulfato ferroso amoniacal (FAS). El cloro libre reacciona instantáneamente con el indicador de DPD, produciendo un color rojo.

Para resultados exactos, el control del pH es esencial. A pH apropiado de 6.2 a 6.5 el color rojo producido puede ser titulado hasta decoloración en el punto final. Titular tan rápido como se forme el color rojo en cada paso. A pH bajo la monocloramina se presenta en el paso del cloro libre y la dicloramina en el paso de la monocloramina.

Temperaturas altas incrementan la tendencia de las cloraminas a reaccionar y conducir a un incremento aparente de los resultados de cloro libre. Altas temperaturas también incrementan la disminución del color. Completar rápidamente la medición, especialmente a altas temperaturas.

La concentración mínima detectable es aproximadamente 0.018mg de cloro como Cl<sub>2</sub>/L. Este límite de detección es obtenido bajo condiciones ideales; los límites detectados en condiciones normales de trabajo son altos.

## Determinación de la Demanda de Cloro por el Método del DPD

SEDAPAL – LA ATARJEA

Av. Ramiro Priale 210 El Agustino, Lima 10.

Telf. (511) 317 3587 - 998 986892, E-mail: [cbarzola@sedapal.com.pe](mailto:cbarzola@sedapal.com.pe)

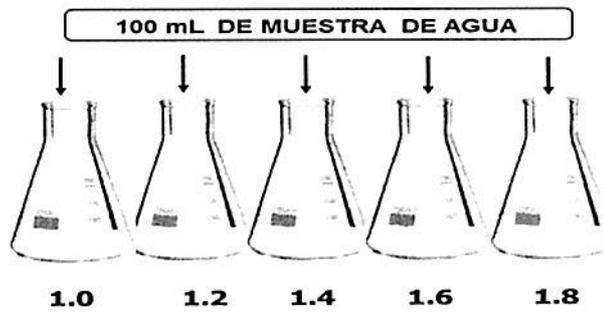
### 1. GENERALIDADES

El cloro es un buen agente oxidante, por lo tanto va a oxidar la materia orgánica y algunos compuestos inorgánicos como el hierro y el manganeso, originando un consumo conocido como **DEMANDA DE CLORO**, que está en función de la temperatura del agua, pH y tiempo de contacto.

El método consiste en aplicar diferentes dosis de cloro (crecientes) a volúmenes iguales de la muestra problema, exponiendo éstos a un tiempo de contacto determinado para luego determinar el cloro residual en cada uno de los recipientes. La demanda de cloro es la diferencia entre la cantidad de cloro que se aplica y la cantidad remanente de cloro residual total que existe al finalizar el tiempo de contacto.

### 2. FUNDAMENTO

El N,N-diethyl-p-phenylenediamina (DPD) es usado como un indicador en el procedimiento de titulación con sulfato ferroso amoniacal (FAS). El cloro libre reacciona instantáneamente con el indicador de DPD, produciendo un color rojo.



**TIEMPO DE CONTACTO: 60min.**

Los frascos deben ser colocados en oscuridad.

**LECTURA:** proceder a la medición del cloro residual libre y cloro residual combinado por el Método del DPD.

**CALCULO DE LA DEMANDA DE CLORO:**

$$\text{Dosis de Cloro mg/L} - \text{Cloro residual total mg/L}$$

Al reportar la demanda de cloro incluir dosis, tiempo de contacto, temperatura, pH de la muestra y método analítico.

**DOSIS REQUERIDA DE CLORO:** reportar la dosis de cloro a la cual se obtuvo el residual esperado al final del tiempo de contacto. Cuando se reporte la dosis requerida de cloro, incluir el residual obtenido, el tiempo de contacto, temperatura y pH de la muestra así como el método analítico.

## METODO DEL DPD

### DETERMINACIÓN DE CLORO RESIDUAL LIBRE

1° Fosfato  
5mL →

2° DPD  
5mL →



3° ADICIONAR  
100mL de muestra



4° TITULAR

HASTA QUE  
DESAPAREZCA  
EL COLOR ROJO  
GROSELLA

mL FAS = mg/L Cl<sub>2</sub> Libre



### DETERMINACIÓN DE CLORO RESIDUAL COMBINADO

5° ADICIONAR  
1g yoduro de  
potasio

AGITAR Y DEJAR  
REPOSAR POR 2 min.



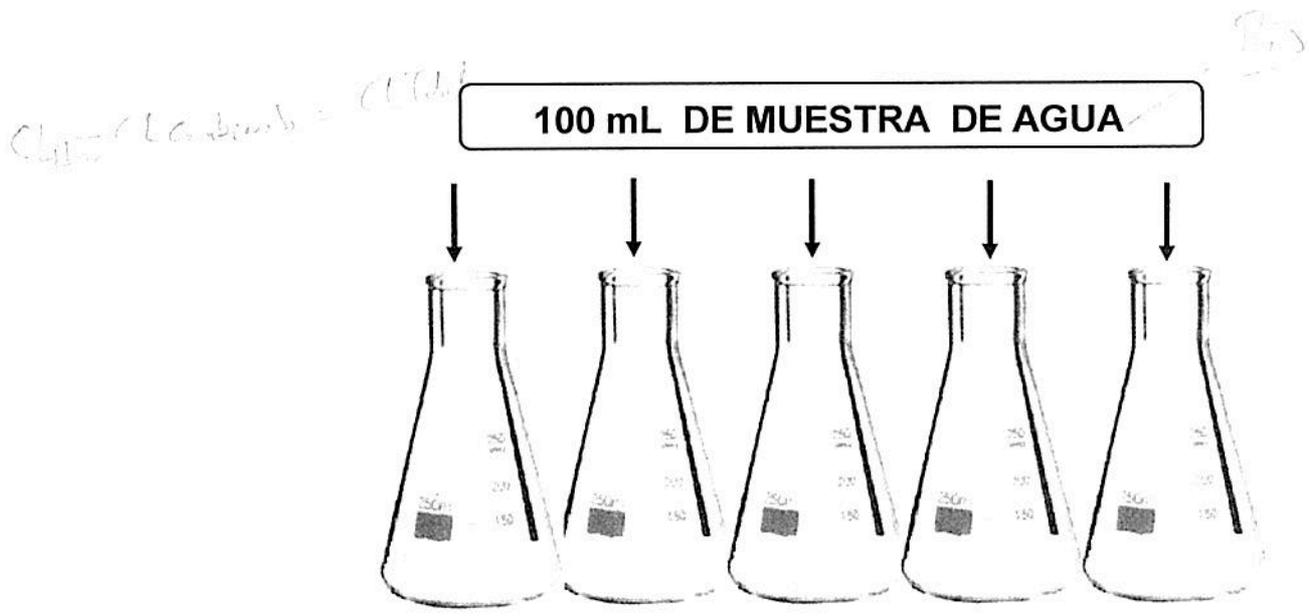
6° TITULAR

HASTA QUE  
DESAPAREZCA  
EL COLOR ROJO  
GROSELLA

mL FAS = mg/L Cl<sub>2</sub> Combinado



## DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA DE CLORO POR EL METODO DEL DPD



**ADICIONAR**  
DOSIS CRECIENTES  
DE CLORO mg/L

**TIEMPO DE CONTACTO: 60min.**

Los frascos deben ser colocados en oscuridad.

**LECTURA:** proceder a la medición del cloro residual libre y cloro residual combinado por el Método del DPD.

**CALCULO DE LA DEMANDA DE CLORO:**

$$\text{Dosis de Cloro mg/L} - \text{Cloro residual total mg/L}$$

Al reportar la demanda de cloro incluir dosis, tiempo de contacto, temperatura, pH de la muestra y método analítico.

**DOSIS REQUERIDA DE CLORO:** reportar la dosis de cloro a la cual se obtuvo el residual esperado al final del tiempo de contacto. Cuando se reporte la dosis requerida de cloro, incluir el residual obtenido, el tiempo de contacto, temperatura y pH de la muestra así como el método analítico.

**ENSAYO DE DEMANDA DE CLORO POR EL METODO DEL DPD**

Volumen de Muestra (mL): **100** Fecha: \_\_\_\_\_  
 Tiempo de Contacto: **60 MINUTOS** Grupo: \_\_\_\_\_

Método: Demanda/Requerimiento de Cloro: APHA-2006-2350 B. Solución estandar de cloro (mg Cl<sub>2</sub>/ml) : **0.1724**  
 DPD - Colorimétrico: APHA-2006-4500 Cl F.

PUNTO DE MUESTREO	Frasco N°	DOSIS DE CLORO		SOLUCION TITULANTE		CLORO RESIDUAL mg/L		DEMANDA DE CLORO (mg/L)
		Volumen (mL)	Concentración (mg/L)	Sulfato Ferroso Amónico ml	Cl <sub>2</sub> Libre	Cl <sub>2</sub> Comb.	Libre	
RIO	1	2.6	4.48	0.13	1.30	0.13	1.43	3.03
	2	2.8	4.83	0.24	1.66	0.24	1.90	3.13
	3	2.9	5.00	0.25	0.52	0.45	1.01	3.90
	4	3	5.17	0.26	0.22	0.28	1.12	1.60
	5	3.1	5.34	0.27	0.27	0.12	1.01	2.02

**Cálculo de la Demanda de Cloro:** Dosis aplicada mg/L - Cloro Residual Total mg/L

**REPORTE DE ENSAYO DE DEMANDA DE CLORO**

Analista: \_\_\_\_\_ Fecha y hora de muestreo: \_\_\_\_\_  
 Fecha y hora de procesamiento: \_\_\_\_\_  
 Método: Demanda/Requerimiento de Cloro: APHA-2006-2350 B. Tiempo de contacto: **60 min**  
 DPD - Colorimétrico: APHA-2006-4500 Cl F.

PUNTO DE MUESTREO	TEMPERATURA °C	pH	DOSIS DE CLORO mg/L	CLORO RESIDUAL LIBRE mg/L	CLORO RESIDUAL TOTAL mg/L	DEMANDA DE CLORO mg/L

4\_COPIA DE CERTIFICADO DE PARTICIPACION  
DEL CURSO



COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU  
Consejo Departamental de Lima  
CAPITULO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL

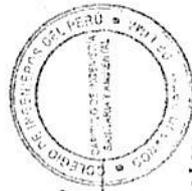
# CERTIFICADO

Otorgado a Sr. JOSÉ FRANCISCO GONZÁLES FALLAS

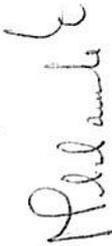
Por su asistencia al Curso Regional de:  
**DISEÑO DE PLANTAS DE FILTRACIÓN RÁPIDA (PFR)  
DE TECNOLOGÍA APROPIADA**  
Realizado del 15 al 24 de octubre de 2018  
56 horas lectivas

  
Ing. Lidia Cánepa de Vargas  
EXPOSITORA

San Isidro, octubre 2018



  
Ing. Guillermo León Suematsu  
PRESIDENTE



Ing. Víctor Maldonado Yactayo  
EXPOSITOR



COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU  
Consejo Departamental de Lima  
CAPÍTULO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

# CERTIFICADO

Otorgado a **Ing. ANGIE NATALIA REDONDO CAMPOS**

Por su asistencia al Curso Regional de:  
**DISEÑO DE PLANTAS DE FILTRACIÓN RÁPIDA (PFR)  
DE TECNOLOGÍA APROPIADA**  
Realizado del 15 al 24 de octubre de 2018  
56 horas lectivas

  
Ing. Lidia Cánepa de Vargas  
EXPOSITORA



  
Ing. Guillermo León Suematsu  
PRESIDENTE

San Isidro, octubre 2018

  
Ing. Víctor Maldonado Yactayo  
EXPOSITOR