

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y MANUFACTURERA



**“ESTUDIO Y REDISEÑO DE UNA PLANTA POTABILIZADORA
DE AGUA DE FILTRACIÓN RÁPIDA (PFR)”**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OTORGAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUÍMICO

**POR LA MODALIDAD DE ACTUALIZACIÓN DE
CONOCIMIENTOS**

PRESENTADO POR:

PETRA ELINE RONDINEL PINEDA

LIMA – PERU

2003

Agradecimiento,

A todos los que me alentaron en éste propósito.

A las autoridades de la FIIS.

A mis profesores y a las autoridades de la FIQM.

A mis profesores y compañeros de FIA-PostGrado.

RESÚMEN

El presente Informe corresponde al diagnóstico del estado de operación de una Planta Potabilizadora de Agua, la Planta de Tratamiento N°2, denominada Planta Nueva, la cual abastece a la población de Imperial, del distrito de Cañete, del departamento de Lima.

Se realiza el diagnóstico del tipo de flujo mediante la distribución de tiempos de residencia (RTD) en forma normalizada, y la distribución de edades en las unidades de floculación y decantación. Se emplean además resultados de aplicación de métodos de evaluación del CEPIS, para plantas de filtración rápida.

En base a los resultados obtenidos, en la etapa de diagnóstico, se hace un estudio conducente al rediseño de la planta, a fin de lograr una mejor operación de la misma. Se formula el rediseño de los floculadores, decantadores laminares, y de la batería de filtros rápidos de tasa declinante y lavado mútuo.

Se formulan recomendaciones y se presentan conclusiones del estudio.

INDICE

| | Pág.Nº |
|---|--------|
| 1. INTRODUCCIÓN. | 1 |
| 2. OBJETIVO. | 1 |
| 3. ALCANCE. | 1 |
| 4. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA EN ESTUDIO. | |
| 4.1.LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA | 2 |
| 4.2.SISTEMA DE POTABILIZACIÓN DE AGUA DE IMPERIAL. | 2 |
| 4.3.DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA N°2 (PLANTA NUEVA). | 2 |
| 4.3.1. DOSIFICACIÓN DE COAGULANTE | 3 |
| 4.3.2. MEZCLA RAPIDA. | 3 |
| 4.3.3. FLOCULADOR. | 4 |
| 4.3.4. DECANTADORES. | 4 |
| 4.3.5. FILTROS. | 5 |
| 4.3.6. DESINFECCIÓN. | 5 |
| 4.3.7. DISTRIBUCIÓN. | 6 |
| 5. CONCEPTO DE AUDITORÍA DE PROCESOS DE PLANTAS DE POTABILIZACIÓN DE AGUA. | |
| 5.1.HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS PARA LA EVALUACIÓN DE PLANTAS DE POTABILIZACIÓN DE AGUA. | 7 |
| 5.1.1. ANÁLISIS DE DATOS HISTORICOS. | 7 |
| 5.1.2. ADQUISICIÓN DE DATOS EN LÍNEA. | 7 |
| 5.1.3. ADQUISICIÓN DE DATOS FUERA DE LÍNEA. | 8 |
| 5.1.4. ENSAYOS CON TRAZADORES. | 8 |
| 5.1.5. PRUEBAS EN CONDICIONES LÍMITES. | 9 |
| 5.2. TÉCNICAS DE EVALUACIÓN CEPIS. | |
| 5.2.1. TÉCNICAS DE EVALUACIÓN DE COAGULACIÓN Y MEZCLA RÁPIDA- MÉTODO CEPIS-RESÚMEN. | 10 |
| 5.2.2. TÉCNICAS DE EVALUACIÓN DE FLOCULADORES HIDRAULICOS – MÉTODO CEPIS-RESÚMEN. | 11-12 |
| 5.2.3.TÉCNICAS DE EVALUACIÓN DE DECANTADORES LAMINARES –MÉTODO CEPIS – RESÚMEN. | 13-15 |
| 5.2.4.TÉCNICAS DE EVALUACIÓN DE FILTROS RÁPIDOS- MÉTODO CEPIS- RESÚMEN. | 16-20 |
| 5.3. ENSAYOS CON TRAZADORES. | |
| 5.3.1. CONCEPTO DEL ENSAYO. | 21-24 |
| 5.3.2. MODELO DE DISPERSIÓN AXIAL. | 24-28 |
| 6. TEORIA DE DISEÑO APLICADO. | |
| 6.1. TEORÍA DE DISEÑO DE FLOCULADORES HIDRÁULICOS DE FLUJO HORIZONTAL-RESÚMEN. | |
| 6.1.1.AGLOMERACION DE PARTICULAS-FLOCULACIÓN. | 29 |

| | | |
|--------|---|---------|
| 6.1.2. | GRADIENTES DE VELOCIDAD Y TURBULENCIA. | 29-31 |
| 6.1.3. | DISEÑO DE FLOCULADORES HIDRÁULICOS DE FLUJO HORIZONTAL. | 31-36 |
| 6.2. | TEORÍA DE DISEÑO DE DECANTADORES DE ALTA TASA- RESÚMEN. | 37-43 |
| 6.3. | TEORÍA DE DISEÑO DE FILTROS RÁPIDOS DE TASA DECLINANTE Y LAVADO MUTUO-RESÚMEN. | 44-58 |
| 7. | EVALUACIÓN DE LAS OPERACIONES DE LA PLANTA. | |
| 7.1. | EVALUACION DE MEZCLA RAPIDA Y COAGULACIÓN. | 59-62 |
| 7.2. | EVALUACIÓN DEL FLOCULADOR. | 63-73 |
| 7.3. | EVALUACIÓN DE DECANTADORES LAMINARES. | 73-82 |
| 7.4. | EVALUACIÓN DE FILTROS RÁPIDOS DE TASA DECLINANTE Y LAVADO MÚTUO | 83-91 |
| 7.5. | EVALUACIÓN DE DESINFECCIÓN. | 92-93 |
| 8. | REDISEÑO DE LAS UNIDADES DE OPERACIÓN OBSERVADAS | |
| 8.1. | REDISEÑO DEL FLOCULADOR. | 94-97 |
| 8.2. | REDISEÑO DE DECANTADORES LAMINARES | |
| 8.2.1. | DIMENSIONAMIENTO DE TUBERIAS SUMERGIDAS DE DISTRIBUCION DE AGUA FLOCULADA. | 98 |
| 8.2.2. | REDISEÑO DEL CANAL DISTRIBUIDOR DE AGUA FLOCULADA | 99 |
| 8.2.3. | REDISEÑO DE DECANTADORES. | 100-102 |
| 8.3. | REDISEÑO DE FILTROS RAPIDOS DE TASA DECLINANTE Y LAVADO MÚTUO. | 103-116 |
| 8.4. | REDISEÑO-RECOPIACIÓN. | |
| 8.4.1. | REDISEÑO DE FLOCULADOR. | 117 |
| 8.4.2. | REDISEÑO DE DECANTADORES LAMINARES. | 117 |
| 8.4.3. | REDISEÑO DE FILTROS RAPIDOS DE TASA DECLINANTE Y LAVADO MÚTUO. | 118 |
| 9. | CONCLUSIONES. | 119-120 |
| 10. | BIBLIOGRAFÍA. | 121 |
| 11. | ANEXO. | 122 |

1. INTRODUCCIÓN.

La tecnología de procesos de la Planta Potabilizadora elegida corresponde a la propiciada por los organismos internacionales CEPIS-OPS para plantas de filtración rápida (PFR).

Las plantas desarrolladas con tecnología CEPIS son fáciles de construir, operar y mantener con recursos locales, puede prescindir de energía eléctrica. Las plantas se pueden construir por módulos, de acuerdo a la disponibilidad de recursos y materiales locales. La reducción en costo de inversión, con relación a otras tecnologías es del 40 al 50%. Permite la ampliación de la capacidad de la planta sin incrementar las estructuras existentes. Es decir son flexibles a modificaciones o remodelaciones sin costos elevados.

Los datos de proceso recogidos puntualmente en una planta potabilizadora no son suficientes para determinar las características operativas ni para conocer la capacidad última de la instalación. Existen varias técnicas de evaluación de procesos que se utilizan para valorar la capacidad y el estado operacional de una planta, entre ellos el estudio con trazadores y el análisis de dispersión axial. Como resultado de la evaluación de procesos de una planta de tratamiento de agua, surgen recomendaciones entre ellas puede surgir la necesidad de revisión de los criterios de diseño.

La solución económica de las plantas de filtración rápida con tecnología CEPIS requiere de un cuidadoso diseño, en especial los filtros con tasa declinante y lavado mútuo. Estudios experimentales desarrollados en Brasil, por Luiz Di Bernardo (Ref. 2) permitieron el desarrollo del diseño de ésta tecnología.

2. OBJETIVO.

Formular recomendaciones de operación y el rediseño o remodelación de las unidades defectuosas de la Planta N°2 (Imperial), conducentes a una optimización de los procesos y un mantenimiento de la misma más efectivo.

3. ALCANCE.

La Planta Potabilizadora elegida corresponde a la primera generación de plantas de filtración rápida de Tecnología CEPIS, en América Latina.

En el presente Informe se emplean datos de estudios de evaluación previos (Marzo de 1999-Alumnos de PostGrado FIA-UNI) y de estudios propiciados por el CEPIS OPS (Alumnos-Taller 2001). Se emplea además data histórica de la empresa administradora EMAPA-CAÑETE correspondiente a los meses Enero-Abril del 2002.

4. DESCRIPCION DE LA PLANTA EN ESTUDIO.

4.1. LOCALIZACION DE LA PLANTA.

Se encuentra ubicada al sur de Lima, a la altura del km.150 de la carretera Panamericana Sur, en la Hacienda Almenares, en la localidad de Nuevo Imperial, provincia de Cañete, departamento de Lima.

4.2. SISTEMA DE POTABILIZACION DE AGUA DE IMPERIAL.

La ciudad de Imperial cuenta con dos fuentes de agua, una superficial y otra subterránea. La primera capta aguas superficiales conducidas por el Canal Nuevo Imperial, y la segunda por medio de una galería filtrante (producción promedio 20 litros por segundo) cercana al Canal Viejo Imperial.

Existen dos plantas de tratamiento. La Planta N°1 o denominada Planta Antigua construida aproximadamente en 1974, y la segunda, la Planta N° 2 , denominada Planta Nueva, contigua a la anterior, que fuera construida en 1977, las cuales suman un caudal de diseño de 70 litros por segundo.

Cuentan con un reservorio semienterrado para el agua tratada, con 800 m³ de capacidad, en el cual se realiza la desinfección del agua filtrada producida en las planta 1 y planta 2.

La captación de agua superficial que abastece a las plantas de tratamiento 1 y 2 se realiza en el Canal Nuevo Imperial , ubicado en el fundo Almenares (construido en 1921), el cual capta agua del río Cañete.

De la captación llega al Pre-Sedimentador desde donde es conducido a la Planta de Tratamiento N° 2. El estanque Pre-Sedimentador tiene un volumen aproximado de 2943 m³ (aprox.29,5 m. por 59 m.), al cual ingresa el agua atravesando compuertas rectangulares con rejillas.

4.3. DESCRIPCION DE LA PLANTA N°2 (PLANTA NUEVA)

La Planta de Tratamiento es una Planta de Filtración Rápida (PFR) para aguas de turbiedad baja (de 100 a 1000 NTU) de primera generación, propiciada por el CEPIS , para localidades con capacidad media de mantenimiento y operación.

Funciona por gravedad, a flujo constante, durante veinticuatro horas al día, con un caudal promedio de 36 litros por segundo, habiendo sido su caudal de diseño de 30 litros/segundo

De la data histórica disponible de EMAPA CAÑETE, los parámetros fisicoquímicos más controlados del agua cruda:

| | |
|-------------------|------------------------------------|
| Turbiedad | 2 - 1500 UNT |
| pH | 7,5 - 8,5 |
| Alcalinidad Total | 96 - 112 mg CaCO ₃ / lt |

Durante época de avenida presenta valores muy altos de turbiedad, sin embargo en épocas de seca, la turbiedad del agua alcanza valores extremadamente bajos.

El rango de pH y el rango de alcalinidad son adecuados para tratamiento tradicional de coagulación con sulfato de aluminio

La Planta N° 2 recibe el agua conducida desde el Pre-Sedimentador através de una línea de 150 mm ϕ PVC clase A-7.5 con una longitud de 960 m. La línea cuenta con una caja de válvulas y by-pass entre la captación y la línea, previendo el caso que el sedimentador quede fuera de operación.

La Planta N° 2 está integrada por las siguientes unidades: Mezcla Rápida (Coagulación), Floculación, Decantación, Filtración.

La Desinfección del agua producida se realiza en el reservorio de agua potable, al cual es conducido además el agua producida en la Planta N°1.

El agua de la Planta N°2 llega al reservorio de agua potable, por medio de un conducto de ϕ 200 mm con una longitud de 40 m.

4.3.1.DOSIFICACION DE COAGULANTE

Para la preparación de la solución del coagulante se cuenta con un "casa química", la cual consta de dos niveles, con un área de 27,85 m². En el primer nivel se ubican dos tanques de concreto armado de 2,5 m³., en los cuales se prepara la solución de sulfato de aluminio.

La "casa química" cuenta con un dosificador del tipo orificio, de carga constante, con el mecanismo de regulación de dosis, fuera de operación. Se prepara la solución a partir del coagulante suministrado : sulfato de aluminio al 8%.

El agua que se utiliza en la preparación se extrae de una cisterna de 3,5 m³., adyacente a la "casa química", por medio de una electrobomba de 1 HP y tubería de ϕ 25 mm PVC.

Desde los tanques la solución preparada fluye através de tuberías de ϕ 25 mm PVC hacia el punto de dosificación, en la unidad de mezcla rápida.

4.3.2. MEZCLA RAPIDA.

El ingreso de agua cruda se realiza por una tubería inferior a un extremo de una cámara de entrada de 30 cm de ancho, con fondo creciente (gradas). La cámara de entrada está conectada a su vez con un canal provisto de un vertedero triangular de pared delgada. Éste canal es de ancho decreciente y con una rampa de aproximadamente 1 m de longitud y una altura de 0,178 m.

Existe una tubería perforada de ϕ 100 mm PVC, que se eleva sobre el canal, para la dosificación del coagulante, el sulfato de aluminio.

4.3.3. FLOCULADOR

Del sistema de mezcla rápida el agua pasa al floculador hidráulico de flujo sinuoso horizontal, con pantallas o láminas lisas removibles de asbesto cemento (de dimensiones c/u. 2,41 m por 1,20 m, espesor 0,006 m) que forman los canales respectivos.

El floculador consta de tres compartimentos (tramos). El primero tramo de 6 m. de ancho debería contar con 21 canales de 13,7 cm de ancho de canal, pero estas han sido removidas hace varios años.

El segundo compartimento presenta 18 canales de 16,1 cm de ancho de canal, y el tercer compartimento de 13 canales de 23 cm de ancho de canal.

Las longitudes del primer, segundo y tercer tramo, son respectivamente, 2,76 m., 2,98 m, y 2,99 m.

4.3.4 DECANTADORES

Se tiene un canal de interconexión entre la unidad de floculación y decantación, para la distribución a los decantadores . Es un canal rectangular de ancho constante 0,70 m. y de sección variable (fondo inclinado). Una de las paredes de éste canal con ventanas o vertederos, uno para cada caja de entrada al decantador respectivo.

Se trata de tres unidades de **decantación de alta tasa o tipo laminar de flujo ascendente** de placas paralelas de asbesto-cemento. Placas ubicadas longitudinalmente a cada unidad y con una inclinación de 60° .

La zona de decantación de cada unidad tiene 4,00 m de largo, 2,45m, de ancho, 3,55 m de profundidad promedio.

La entrada a cada decantador se realiza a través de compuertas del canal distribuidor de agua floculada. Compuertas sumergidas ubicadas a igual profundidad que los extremos inferiores de las láminas inclinadas.

La recolección de agua decantada se realiza por caída libre a través de vertederos de recolección laterales en forma de U. La longitud de cada

vertedero es de 3 m. El caudal producido por cada decantador descarga al canal de distribución común hacia los filtros.

El fondo de los decantadores tiene la forma tronco-cónica (tolva) para depósito de lodos. El drenaje de cada uno de ellos se realiza através de una tubería de ϕ 200 mm, accionando una válvula de compuerta que conduce los lodos a un buzón de desagüe, de 1,50 m. de diámetro y 5,00 m. de altura.

El sistema de limpieza es hidráulico, utiliza el mismo flujo de entrada al decantador. Manteniendo cerrada la compuerta de salida de agua decantada y abierta la boca de desagüe de las tolvas de lodo, se evacúan los lodos hacia el buzón.

4.3.5 FILTROS.

El agua decantada ingresa a los filtros rápidos a través de las ventanas sumergidas del canal distribuidor, cada una de las cuales tiene una compuerta de acción manual.

El sistema de filtración está constituido por una batería de seis filtros, provistos de medio filtrante simple de arena, y capa de soporte de grava. Cada filtro tiene un área filtrante superficial de 1,40 m de ancho por 1,80 m. de largo. La tasa de filtración o velocidad de aproximación de diseño fué de $171,43 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ y la velocidad de lavado de diseño $0,714 \text{ m} / \text{min}$.

Se trata de filtros rápidos de flujo vertical descendente, de lavado mútuo, con un vertedero de control de nivel, de pared gruesa, ubicado en una cámara común adyacente a la batería de filtros, el cual establece además la carga necesaria de agua para lavar cualquiera de los filtros.

Los falsos fondos de los filtros constan de viguetas triangulares prefabricadas (con orificios laterales) que conducen al fondo común a los seis filtros.

Las aguas filtradas se reúnen en la cámara colectora de 0,80 m de ancho, 1,40 m. de largo, y 4,90 m. de altura, desde donde se una tubería de ϕ 200 mm y 73 m de longitud conduce el agua hacia el reservorio.

Bajo el canal de distribución del agua decantada a los filtros se encuentra el canal de colección de agua de lavado. El agua de lavado de cada filtro es colectada através de una ventana sumergida abierta a todo lo ancho de la unidad de filtración.

4.3.6 DESINFECCION.

El agua proveniente de la Planta de Tratamiento N° 2 se desinfecta en el reservorio semienterrado de 800m^3 , por inyección al vacío de cloro gaseoso en solución .

4.3.7 DISTRIBUCION

El agua desinfectada del Reservorio es conducida a la ciudad de Imperial por medio de una tubería de ϕ 300 mm PVC juntándose con otra línea ϕ 300 mm PVC de agua desinfectada (subterránea) proveniente de la Galeria Filtrante.

5. CONCEPTO DE AUDITORIA DE PROCESOS DE PLANTAS DE POTABILIZACION DE AGUA.

Existen varias técnicas de evaluación y optimización de procesos, que se utilizan para valorar la capacidad y el estado operacional actuales de una planta potabilizadora de agua.

Dependiendo de la información, en las que pueda apoyarse la evaluación, la tecnología de procesos y características de la planta, las limitaciones del tiempo de evaluación, el presupuesto de evaluación, y los recursos humanos, el diagnóstico derivado de la evaluación puede ser más o menos acertado.

Cuando el diagnóstico de evaluación es acertado las recomendaciones derivadas del diagnóstico pueden llevar a una mejora de lo procesos, mejora significativa en la calidad bacteriológica y físicoquímica del agua producida, postpuesta o minimización de las necesidades de expansión y control de procesos más efectivo.

5.1. Herramientas de Análisis para la Evaluación de Plantas de Potabilización de Agua.

Los componentes de un programa de evaluación y optimización son las siguientes:

5.1.1 Análisis de datos históricos.

La disponibilidad de datos históricos de la planta y un análisis comprensivo proporciona la información inicial necesaria para la auditoría de procesos.

El período cubierto por ésta revisión de datos, varía en función de los objetivos específicos del estudio, además de la información disponible.

5.1.2 Adquisición de datos en línea.

Consiste en la medición de las cargas del proceso y de los parámetros de funcionamiento mediante instrumentación instalada en forma temporal o permanente y puede ser ya sea con sistema conectado a un ordenador para la adquisición, el análisis y la preservación de datos, o simplemente con sistema convencional de registro.

El sistema automatizado permite detectar las perturbaciones dinámicas que no pueden observarse con métodos convencionales de muestreo, y tiene dos funciones:

- Facilita la identificación de relaciones causa-efecto que no son directamente observables de otro modo.
- Permite desarrollar una base de datos exhaustiva para un análisis detallado del proceso.

Por ejemplo requiere la adquisición de datos como la expansión del lecho filtrante en el lavado, la cual puede ser por registrada de modo discontinuo manual o por sistema automatizado de registro con control de procesos.

La Planta de tratamiento de Atarjea, Sedapal por ejemplo utiliza un sistema de adquisición de datos y control de procesos automatizado generalizado a casi la totalidad de las operaciones de planta.

5.1.3 Adquisición de datos fuera de línea.

Se realiza mediante muestreo para posterior análisis. El muestreo puede ser automatizado o no. Se utiliza por ejemplo, para estimar las cargas de la carga de contaminación microbiológica del agua, la carga de turbiedad, o de otro parámetro físicoquímico o significativo en el tratamiento, para a su vez evaluar los rendimientos del proceso, y para determinar si la planta cumple los requerimientos del efluente.

El análisis granulométrico del medio filtrante en un filtro, por ejemplo, se realiza fuera de línea, con las muestras de arena extraídas mediante un procedimiento normalizado.

5.1.4. Ensayo con trazadores.

Consisten en la adición de un trazador inerte a una unidad de proceso y en la medida de la concentración del trazador en el efluente del proceso o en varios puntos del proceso. El subsiguiente análisis de los datos del trazador permite identificar comportamientos hidráulicos no ideales, como cortocircuitos, zonas muertas y desviaciones de los modelos hidráulicos admitidos, como el flujo tipo pistón o la mezcla completa. Los estudios con trazadores pueden aplicarse a cualquier unidad de tratamiento a escala real para identificar desviaciones en las características hidráulicas. Si el estudio del trazador revela una configuración del flujo no deseada. La instalación de pantallas deflectoras en lugares determinados del tanque o el aumento de la capacidad de mezcla son algunos de los medios para mejorar el funcionamiento del proceso.

5.1.5. Modelización hidráulica.

La modelización hidráulica se utiliza para evaluar los posibles desequilibrios de flujo y los estrangulamientos en la planta que pueden afectar negativamente a la capacidad de la planta. La modelización también provee información sobre los perfiles de elevación de la lámina de agua a lo largo de la línea de cualquier caudal y los gradientes de velocidad.

La modelización hidráulica se ha utilizado con éxito en plantas potabilizadoras para corregir o reducir los desequilibrios de caudal.

5.1.6. Pruebas en condiciones límites.

Las pruebas en condiciones límites se realizan en procesos unitarios concretos o en tratamientos completos en una planta.

Los resultados indican la capacidad máxima del proceso o tratamiento probado. Las cargas hidráulicas, y de impurezas se aumentan poniendo otras unidades paralelas fuera de servicio y, por lo tanto, incrementando el caudal que llega a las unidades que permanecen en funcionamiento, o bien redirigiendo caudal desde otras áreas de proceso. El efecto de someter el proceso a éstas condiciones se monitorea mediante sistemas de adquisición de datos en línea y/o fuera de línea.

Este tipo de pruebas se realiza para determinar si se podría cumplir limitaciones más restrictivas en la calidad del efluente para caudales futuros sin ampliar la planta, o bien para determinar cuando se necesitaría la ampliación.

5.2. TÉCNICAS DE EVALUACIÓN DEL CEPIS.

5.2.1. TECNICAS DE EVALUACION DE COAGULACION Y MEZCLA RAPIDA – METODO CEPIS—CEPIS.

CUADRO 5.2.1. - RESUMEN.

| EVALUACION | OBJETIVO | EQUIPOS/MATER. | PROCEDIMIENTO | INTERPRETACION | | | | | | | | |
|-----------------------------|---|--|---|---|------------|------------------------|--------------|-------------|-----------|------------|----------|-------------|
| Eficiencia | Determinar la eficiencia del proceso | <ul style="list-style-type: none"> •Coagulante. •Equipo de Prueba de Jarras. •Turbidímetro. | <p>Se determinan la turbiedad inicial de agua cruda y la <u>turbiedad final</u> en un ensayo con los parámetros ideales previamente determinados para coagulación y mezcla rápida, floculación y sedimentación.</p> <p>Se repite el procedimiento con una muestra de <u>planta</u> inmediatamente después de <u>dosificación y mezcla rápida</u> con los mismos parámetros de floculación y sedimentación anteriores.</p> | $Eficiencia = I = \frac{AP}{AP_L} 100$ $AP = \frac{1}{turb_{INICIAL}} - \frac{1}{turb_{FINAL}}$ <p>AP = Índice de aglomeración aparente</p> <p>AP_L = Índice de aglomeración aparente con mezcla rápida en prueba lab.</p> <p>I:</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>>90</td> <td>70-90</td> <td>50-70</td> </tr> <tr> <td>Excelen.</td> <td>Buena</td> <td>Regular</td> </tr> </table> | >90 | 70-90 | 50-70 | Excelen. | Buena | Regular | | |
| >90 | 70-90 | 50-70 | | | | | | | | | | |
| Excelen. | Buena | Regular | | | | | | | | | | |
| Intensidad de Mezcla Rápida | Determinar el Gradiente de Velocidad (G) de Mezcla Rápida | Escala graduada. | <p>Se mide directamente la pérdida de carga (H) por diferencia de niveles de agua (diferencia de cotas). Se requiere conocer previamente el tiempo de retención hidráulico (TRH) por ensayo con trazadores.</p> <p>Datos de densidad y viscosidad dinámica del agua a la temperatura respectiva.</p> | <p>El gradiente de mezcla para una unidad hidráulica de MR</p> $G = \frac{H \cdot \rho}{\mu \cdot (TRH)}$ <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>Tipo de MR</td> <td>G (seg⁻¹)</td> </tr> <tr> <td>Resalto Hid.</td> <td>Alred. 1000</td> </tr> <tr> <td>Difusores</td> <td>800 - 1000</td> </tr> <tr> <td>En Línea</td> <td>3000 - 5000</td> </tr> </table> | Tipo de MR | G (seg ⁻¹) | Resalto Hid. | Alred. 1000 | Difusores | 800 - 1000 | En Línea | 3000 - 5000 |
| Tipo de MR | G (seg ⁻¹) | | | | | | | | | | | |
| Resalto Hid. | Alred. 1000 | | | | | | | | | | | |
| Difusores | 800 - 1000 | | | | | | | | | | | |
| En Línea | 3000 - 5000 | | | | | | | | | | | |

5.2.2. TECNICAS DE EVALUACION FLOCULADORES HIDRAULICOS –METODO CEPIS– RESUMEN.

CUADRO 5.2.2. RESUMEN.

| EVALUACION | OBJETIVO | EQUIPOS/MATERIALES | PROCEDIMIENTO | INTERPRETACION |
|---------------------------|---|---|--|--|
| Eficiencia | Determinar la eficiencia del proceso | <ul style="list-style-type: none"> • Coagulante. • Prueba de Jarras. • Turbidímetro. | <p>Una muestra de agua colectada en planta inmediatamente después de <u>dosificación</u> y <u>mezcla rápida</u>, es llevada a un ensayo de prueba de jarras, llevada a cabo con los parámetros ideales previamente determinados de floculación, y se permite sedimentación en 5 min. Se determina la turbiedad final ($TURB_L$).</p> <p>Como contraparte, se permite la sedimentación durante 5 min. de una muestra de agua floculada en planta y se registra la turbiedad final ($TURB_p$).</p> | $Eficiencia = I = \frac{TURB_L}{TURB_p} \cdot 100$ |
| Intensidad de Floculación | Determinar el Gradiente de Velocidad (G) de Floculación | Escala graduada | <p>Se mide directamente la pérdida de carga (H_i) por diferencia de niveles de agua (cotas) en cada tramo-i del floculador.</p> <p>Se requiere conocer previamente el tiempo de retención hidráulico (TRH_i) por ensayo con trazadores.</p> <p>Se aplican datos de densidad y viscosidad dinámica del agua a la temperatura respectiva.</p> | <p>El gradiente de mezcla para cada tramo-i del floculador.</p> $G_i = \frac{H_i \cdot \rho}{\mu (TRH)_i}$ <p>El gradiente del primer tramo debe ser menor que en el canal de ingreso a floculadores, y el gradiente de cada tramo debe ser inferior al del tramo que le precede</p> |

CUADRO 5.2.2.- (Continuación).

| EVALUACION | OBJETIVO | EQUIPOS/MATERIALES | PROCEDIMIENTO | INTERPRETACION |
|----------------------------|---|---|--|--|
| Caracterización Hidráulica | <p>Determinar el tiempo de residencia real (TRH)</p> <p>Análisis de la curva de tendencia de concentración del trazador (*)</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Cloruro de sodio NaCl comercial. • Conductivímetro. • Solución patrón de KCl. | <p>Preparar una Curva de Calibración, concentración (mgr/lit), versus Conductividad (microsiemens/cm)</p> <p>Se inyecta el trazador a una concentración y a una conductividad (C_o) conocida, al ingreso de la unidad de floculación. El trazador participa del flujo dentro de ella, siendo arrastrado hacia la salida.</p> <p>A la salida se inicia la colecta de muestras en vasos, la cual prosigue secuencialmente e intervalos de 2 minutos, hasta que el trazador abandona completamente el sistema. Se registra el tiempo transcurrido desde la inyección del trazador hasta la colección de la muestra. Se lee la conductividad © de cada muestra.</p> <p>Trazar curva conductividad © versus tiempo (t) de los datos registrados. Determinar el área bajo la curva.</p> | <p>t_{INIC} = tiempo al cual aparece el trazador en efluente.</p> <p>t_{FIN} = tiempo al cual todo el trazador atravieza la unidad.</p> <p>t_o = tiempo retención teórico</p> <p>t_p = tiempo al cual aparece puntualmente la máxima concentración C_p en el flujo de salida.</p> <p>t_{10} = tiempo correspondiente al paso del 10% de la cantidad total del trazador.</p> <p>t_{90} = tiempo correspondiente al paso del 90% de la cantidad total del trazador.</p> |

(*)Criterios de Análisis de la Curva de Tendencia del Trazador.

| Característica Hidráulica | t_i/t_o | t_m/t_o | t_p/t_o | $\frac{(t_F - t_P) - (t_P - t_I)}{t_o}$ | t_{90}/t_{10} | t_c/t_o |
|---------------------------|-----------|-----------|-----------|---|-----------------|---------------|
| ∃ Cortocircuitos | <0,3 | <1 | | | | |
| ∃ Espacios Muertos | | >1 | | | | |
| Flujo Tipo Pistón | =1 | | =1 | =0 | =1 | |
| Flujo Tipo Mezcla | =0 | | =0 | >2,3 | >1 | Alrededor 0,7 |

5.2.3. TECNICAS DE EVALUACIÓN DE DECANTADORES LAMINARES– METODO CEPIS-RESUMEN.

CUADRO 5.2.3. - RESÚMEN.

| EVALUACION | OBJETIVO | EQUIPOS/MATER. | PROCEDIMIENTO | INTERPRETACION | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|---|---|---|---|-------------|---|-----------|-----|----------|-------|-------|-------|---------|-------|------------|-----|
| | | | | Eficiencia | Turbiedad del agua decantada | | | | | | | | | | | | |
| <p>Eficiencia en función de la calidad del agua decantada.</p> | <p>Determinar la eficiencia del proceso en base a data histórica.</p> | | <p>Se agrupan datos de turbiedad de agua decantada en planta en rangos determinados, calculándose la frecuencia de presentación anual. Con lo cual, se grafica la curva de frecuencia acumulativa.</p> <p>Se encuentran la: Turbiedad Mínima, Turbiedad Máxima, y la Turbiedad Media</p> | <p>Excelente</p> <p>Muy Buen</p> <p>Buena</p> <p>Regular</p> | <p>< 5 NTU</p> <p>5-10</p> <p>10-15</p> <p>>5</p> | | | | | | | | | | | | |
| <p>Eficiencia en función del pretratamiento</p> | <p>Evaluar la influencia de coagulación y floculación en el proceso de decantación</p> | <ul style="list-style-type: none"> •Coagulante. •Equipo de Prueba de Jarras. • Turbidímetro. | <p>Se determinan la turbiedad inicial de agua cruda y las <u>turbiedades finales</u> en un ensayo con los parámetros ideales previamente determinados para coagulación, mezcla rápida, y floculación, en el cual se permite la sedimentación y se extraen muestras a una profundidad pre-establecida (hs) y a diferentes tiempos (ts) separados por intervalos de 30-60 segundos.</p> <p>Como contraparte se determinan las turbiedades finales de una muestra de agua de planta colectada inmediatamente después de floculadores, al cabo de un ensayo de prueba de jarras, en la cual se permite la sedimentación y se extraen muestras a la misma profundidad (hs) y al cabo de los mismos tiempos (ts) que en el ensayo anterior.</p> | <p>Se calculan las velocidades de sedimentación del ensayo,</p> $V_s = \frac{hs}{ts}$ <p>Se grafican las curvas teórica y real de turbiedad final (Tf) versus Vs. Para una determinada tasa de decantación, o velocidad Vs, el índice de eficiencia. I,</p> $es I = \frac{Tf_{LAB}}{Tf_{PLAN}}$ | <table border="1"> <thead> <tr> <th>Clasificac.</th> <th>I</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Excelente</td> <td>>90</td> </tr> <tr> <td>Muy Buen</td> <td>80-90</td> </tr> <tr> <td>Buena</td> <td>70-80</td> </tr> <tr> <td>Regular</td> <td>60-70</td> </tr> <tr> <td>Deficiente</td> <td><60</td> </tr> </tbody> </table> | Clasificac. | I | Excelente | >90 | Muy Buen | 80-90 | Buena | 70-80 | Regular | 60-70 | Deficiente | <60 |
| Clasificac. | I | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Excelente | >90 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Muy Buen | 80-90 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Buena | 70-80 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Regular | 60-70 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Deficiente | <60 | | | | | | | | | | | | | | | | |

CUADRO 5.2.3. (Continuación).

| EVALUACION | OBJETIVO | EQUIPOS/MATERIALES | PROCEDIMIENTO | INTERPRETACION |
|---|---|--------------------|---|--|
| Determinación de la Carga Superficial Real | Comparar la Carga Superficial Real con la Carga Superficial Aparente | Escala graduada | Se determina la profundidad (H) del agua en el decantador (cm). Por medio del ensayo con trazadores se determina el tiempo real de retención (TRH). Se determina la carga superficial real (V) dividiendo la profundidad (H) del decantador(cm) entre el tiempo TRH. Se calcula la carga superficial en unidades $m^3/m^2.día.$ | 1° Se calcula la carga superficial real: $V = \frac{H.100}{TRH.60} 864$ 2° La carga superficial aparente: $V_{APARENTE} = \frac{(Q_{DECANTADOR})86400}{A_s}$ $Q_{DECANTADO} = \text{Caudal} \quad (m^3/s)$ $A_s = \text{Area superficial decantador}$ |
| Determinación de condiciones hidráulicas en zona de entrada al decantador | Determinar la velocidad y el gradiente de velocidad (G) en los dispositivos de entrada. | Escala graduada | Determinando previamente cual es el caudal en cada decantador y la sección de paso en el dispositivo de entrada (ancho de paso y altura de agua por él), se calcula la velocidad de la ecuación de continuidad. Conociendo la velocidad (m/s) y el radio hidráulico de paso, RH (m), además de la viscosidad cinemática (m^2/s) se calcula el gradiente de velocidad, G (s^{-1}) | $V = \frac{Q_{DECANTADOR}}{A_{PASO}}$ $RH = \frac{A_{PASO}}{Perimmojad}$ El gradiente de velocidad para canales, compuertas y orificios rectangulares puede calcularse por: $G = \eta \frac{\gamma}{\mu} (RH)^{-0.7} V^{1.5}$ V debe ser superior a 0,15m/s. G debe ser menor con respecto a la unidad anterior. |
| Determinar condiciones hidráulicas en zona de salida | Determinar la carga unitaria en el vertedero de salida. | Escala graduada. | Conociendo el caudal en el decantador y la longitud efectiva del vertedero de la canaleta de recolección se calcula la carga unitaria. | $q_{CANALETA} = \frac{Q_{DECANTADOR}}{L_{CANALETA}} 60$ Debe cumplir: $q_{CANALETA} < 12 m^3/m.min$ |

CUADRO 5.2.3. (Continuación).

| EVALUACION | OBJETIVO | EQUIPOS/MATERIALES | PROCEDIMIENTO | INTERPRETACION |
|--|---|---|--|--|
| <p>Determinación de Remoción de decantación en función de la carga superficial</p> | <p>Proporcionar Criterios de Diseño</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Equipo modificado de prueba de jarras. • Turbidímetro. | <p>Reproducir en el equipo de prueba de jarras (06 jarras) los parámetros fisicoquímicos de mezcla rápida (coagulación), y floculación existentes en planta.</p> <p>Luego de suspendida la agitación dejar decantar, y extraer con una pipeta o con un sifón muestras de cada jarra provenientes de una profundidad de (Hs) por ejm. de 5 cm, y a intervalos de tiempo regulares, elegidos previamente distintos para cada jarra.</p> <p>Leer la turbiedad de cada una de las muestras colectadas.</p> <p>Las velocidades de sedimentación, Vs:</p> $V_s = \frac{H_s}{t_s},$ <p>donde t_s = tiempo de decantación</p> <p>Se grafica . x_{sc} versus V_s.</p> <p>Donde, $x_{sc} = \left(\begin{matrix} T_f \\ T_o \end{matrix} \right)_{sc}$</p> $Remoción = (1 - x_{sc}) + \frac{1}{V_{sc}} \int_0^{x_{sc}} V_s . dx$ | <p>Cuanto menor es la velocidad de sedimentación de diseño, mayor es el % de remoción de turbiedad.</p> <p>Las partículas con velocidades $>V_s$ son removidas, pero además son removidas aquella fracción de partículas con velocidades $<V_s$ que no alcanzan el nivel del vertedero de salida y que chocan con las paredes de las placas. Esta fracción es estimada con</p> $\frac{1}{V_{sc}} \int_0^{x_{sc}} V_s . dx$ |

5.2.4. TECNICAS DE EVALUACION DE FILTROS RÁPIDOS–METODO CEPIS- RESUMEN.

CUADRO 5.2.4. - RESÚMEN.

| EVALUACION | OBJETIVO | EQUIPOS/MATERIALES | PROCEDIMIENTO | INTERPRETACION |
|-------------------------------------|--|--|---|---|
| <p>Indice de dureza del flóculo</p> | <p>Deducir características del flóculo</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Dos piezómetros • Dos reglas graduadas • Turbidímetro. | <p>(1) Colocar una regla y un piezómetro alineadas contra una de las paredes de la caja de filtro, haciendo coincidir el cero de la escala con el nivel máximo de la caja. Colocar la otra regla y el otro piezómetro contra una de las paredes del canal colector de agua filtrada, haciendo coincidir el nivel máx. del canal con el cero de la escala. Leer el nivel de agua en la mira del piezómetro de la caja de filtro (h) y el nivel (h₁) en la mira del piezómetro dentro del canal. Hacer estos registros cada hora durante 24 hrs.</p> <p>(2) Simultáneamente, registrar la turbiedad del agua filtrada cada hora.</p> <p>(3) Graficar h_f (cm) versus tiempo t (horas).</p> | $h_f = h - h_1$ <p>Cuando la turbidez del agua filtrada sobrepasa el máximo permisible 1 NTU, al valor de pérdida de carga con la cual esto ocurre se le dá el nombre de pérdida de carga h_c crítica</p> $ID = \frac{h_c}{h_{MAX}}$ <p>h_{MAX} = máxima pérdida de carga permisible por la hidráulica del sistema.</p> <p>Valores de ID inferiores a 1 NTU indican un grado insatisfactorio de pretratamiento debido al diseño inadecuado o deficiente de operación.</p> |
| | | <ul style="list-style-type: none"> • Dos piezómetros • Dos reglas graduadas | <p>Realizar el mismo procedimiento (1), arriba descrito, durante varias carreras de filtración.</p> | |

CUADRO 5.2.4. (Continuación).

| EVALUACION | OBJETIVO | EQUIPOS/MATERIALES | PROCEDIMIENTO | INTERPRETACION |
|------------------------------------|--|--|--|---|
| Granulometría del medio filtrante | Determinar el Diámetro efectivo de arena, el D_{60} , y el Coeficiente de Uniformidad. | <ul style="list-style-type: none"> •Juego de mallas serie Tayler. •Estufa. •Balanza . | <p>Luego de drenado el filtro una muestra del medio filtrante es extraída por medio del aparato muestreador. La muestra es secada en estufa a 100C durante 1 hora.</p> <p>Al cabo del secado, 500 gr de la muestra se llevan al recipiente superior de la serie de mallas Tayler superpuestas (ordenadas de mayor a menor tamaño de malla desde N°8 hasta la N°48). Se agita el conjunto intensamente.</p> <p>Se pesan las porciones de muestra retenidas entre cada par de mallas y se calculan como porcentajes de la muestra total.</p> <p>Se trazan log (peso acumulado) versus tamaño de granos (mm) en el eje de abscisas.</p> | <p>Del análisis granulométrico de la arena se calculan:</p> <p>Diámetro efectivo de arena (de) = D_{10} = abertura de la malla que dejaría pasar el 10 % de la muestra.</p> <p>D_{60} = abertura de la malla que dejaría pasar el 60% de la muestra.</p> <p>Coeficiente de uniformidad=</p> $CU = \left(\frac{D_{60}}{D_{10}} \right)$ |
| Perfil del lecho filtrante (arena) | Determinar la homogeneidad de la altura del lecho de arena. | <ul style="list-style-type: none"> •Varilla metálica graduada. | <p>Marcar en un esquema de la superficie del lecho filtrante una serie de puntos acotados a lo largo y ancho del filtro</p> <p>Regular la abertura de la compuerta de ingreso hasta obtener y mantener unos 10 cm de agua sobre el lecho de arena para tomarlo de referencia.</p> <p>Introducir la varilla graduada en cada uno de los puntos acotados hasta tocar la grava registrando la profundidad del lecho de arena.</p> <p>Llevar los datos a un plano y dibujar las curvas de nivel, con niveles distanciados de 1 a 2 cm.</p> | <p>Los desniveles del lecho de arena deben ser inferiores a 5 cm. Variaciones mayores indican la necesidad de un estudio de las causas para proceder a la corrección.</p> |

CUADRO 5.2.4. (Continuación).

| EVALUACION | OBJETIVO | EQUIPOS/MATERIALES | PROCEDIMIENTO | INTERPRETACION | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|--|---|--|--|----------------------|--------------|-------|-----------|---------|-----------|---------|-------|---------|---------|---------|------------|---------|------|------|----------|
| Bolas de Barro | Determinar la presencia de bolas de barro en el medio filtrante de arena. | <ul style="list-style-type: none"> • Aparato muestreador de fierro galvanizado. • Una malla metálica Tyler N°10 (2mm) • Probeta de 500 ml. | <p>Realizar el lavado del filtro y luego drenar el agua hasta un nivel de 20 cm por debajo de la superficie de arena.</p> <p>Determinar el volúmen del muestreador.</p> <p>Introducir el muestreador en el medio filtrante, retirarlo con cuidado para que no caiga el material. Volver a introducir el muestreador por lo menos en tres partes más para extraer muestras respectivas hasta colmar el $V_{\text{MUESTREADOR}}$. Colocar todas las muestras en un recipiente.</p> <p>Colocar un volúmen V determinado de agua en la probeta de 500 ml.</p> <p>Colocar la muestra de arena por partes en el tamiz. Sumergir el conjunto en un balde con agua. Las bolas de barro que se desprenden de la arena y son retenidas en el tamiz se transfieren a la probeta.</p> | <p>$\% \text{ Bolas de Barro} = \frac{\Delta V}{V_{\text{MUESTREADOR}}} \cdot 100$</p> <p>donde, ΔV =Incremento de volúmen en la probeta.</p> <table border="1" data-bbox="1527 667 1917 1005"> <thead> <tr> <th>%Vol. Bolas de Barro</th> <th>Calificación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0-0,1</td> <td>Excelente</td> </tr> <tr> <td>0,1-0,2</td> <td>Muy bueno</td> </tr> <tr> <td>0,2-0,5</td> <td>Bueno</td> </tr> <tr> <td>0,5-1,0</td> <td>Regular</td> </tr> <tr> <td>1,0-2,5</td> <td>Deficiente</td> </tr> <tr> <td>2,5-5,0</td> <td>Malo</td> </tr> <tr> <td>>5,0</td> <td>Muy malo</td> </tr> </tbody> </table> | %Vol. Bolas de Barro | Calificación | 0-0,1 | Excelente | 0,1-0,2 | Muy bueno | 0,2-0,5 | Bueno | 0,5-1,0 | Regular | 1,0-2,5 | Deficiente | 2,5-5,0 | Malo | >5,0 | Muy malo |
| %Vol. Bolas de Barro | Calificación | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0-0,1 | Excelente | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,1-0,2 | Muy bueno | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,2-0,5 | Bueno | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,5-1,0 | Regular | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1,0-2,5 | Deficiente | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2,5-5,0 | Malo | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| >5,0 | Muy malo | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Expansión del lecho filtrante | Determinar el %de aumento de espesor del lecho filtrante durante la operación de lavado. | <ul style="list-style-type: none"> • Varilla metálica-1 con cajitas soldadas a distancia de 5 cm.entre bordes de cajitas. • Varilla metálica-2 de ½ pulg. de diámetro | <p>Fije la varilla-1 dentro del filtro colocando el extremo inferior encima del lecho filtrante.</p> <p>Se procede a efectuar el lavado normalmente .</p> <p>Mida la distancia entre la caja más alta que contiene arena y la superficie del lecho filtrante. Esta será la expansión (ΔL)</p> <p>Después de lavado el filtro, se introduce la varilla-2 hasta encontrar la capa de grava y se determina la longitud de la porción introducida(m),ésto es el espesor (L)del lecho.</p> | $\% \text{ Exp .} = \frac{\Delta L}{L} \cdot 100$ | | | | | | | | | | | | | | | | |

CUADRO 5.2.4. (Continuación).

| EVALUACION | OBJETIVO | EQUIPOS/MATERIALES | PROCEDIMIENTO | INTERPRETACION | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|---|---|--|--|------------|----|----|------------------|-----------|----------|---------------------------|-----------|-----------------------|-------------------------|-----------|----------------|
| Duración del Proceso de Lavado | Determinar la variación de la turbiedad del agua de lavado a fin de determinar el tiempo óptimo en que debe ejecutarse cada operación | <ul style="list-style-type: none"> •Cronómetro •Turbidímetro •15 Frascos de 15 ml. c/u enumerados del 01 al 15 | <p>Iniciar el lavado normal del filtro y tan pronto como empiece a llegar el agua de lavado a las canaletas de recolección llenar el frasco 01. Cada minuto colectar el agua que llega a la canaleta llenando un nuevo frasco, hasta completar los quince.</p> <p>Determinar la turbiedad de cada muestra.</p> <p>Graficar logaritmo (turbiedad) versus tiempo. Determinar el punto de inflexión donde la curva tienda a ser asintótica con respecto a la horizontal.</p> | El punto de inflexión indicado corresponderá al tiempo óptimo de lavado, más allá del cual no es significativo prolongar la duración de lavado. | | | | | | | | | | | | |
| Número de Mintz | Determinar los tiempos críticos de operación para establecer la calidad del pretratamiento. | <ul style="list-style-type: none"> • Dos piezómetros. • Dos reglas graduad. • Turbidímetro. • Colector de muestras. | <p>Se requiere tener la posibilidad de colectar agua filtrada de cada filtro independizado. No siempre es posible, sobre todo en filtros de lavado mútuo cuando éstos no están independizados y el agua filtrada de c/u pasa directamente a un canal común.</p> <p>Se registra la pérdida de carga del medio filtrante cada hora y simultáneamente se colectan muestras del agua filtrada. Se continúa hasta encontrar la máxima pérdida de carga en un caso y hasta encontrar la máxima turbiedad en el otro caso.</p> <p>Analizar la curva pérdida de carga (h_f) versus tiempo(t) , y la curva Turbiedad (T) versus (t).</p> | <p>Determinar los sgts. tiempos:</p> <p>t_1= Tiempo en que se alcanza la máx. pérdida de carga</p> <p>t_2= Tiempo en que se alcanza la máxima turbiedad.</p> <p>t_1 = Número de Mintz</p> <p>t_2</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>N.de Mintz</th> <th>>1</th> <th><1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Dosis Coagulante</td> <td>Exce-siva</td> <td>Muy Baja</td> </tr> <tr> <td>Dosis Ayudante de Coagul.</td> <td>Exce-siva</td> <td>Falta Ayudan. Coagul.</td> </tr> <tr> <td>Espesor Lecho Filtrante</td> <td>Exce-siva</td> <td>Insufi-Ciente.</td> </tr> </tbody> </table> | N.de Mintz | >1 | <1 | Dosis Coagulante | Exce-siva | Muy Baja | Dosis Ayudante de Coagul. | Exce-siva | Falta Ayudan. Coagul. | Espesor Lecho Filtrante | Exce-siva | Insufi-Ciente. |
| N.de Mintz | >1 | <1 | | | | | | | | | | | | | | |
| Dosis Coagulante | Exce-siva | Muy Baja | | | | | | | | | | | | | | |
| Dosis Ayudante de Coagul. | Exce-siva | Falta Ayudan. Coagul. | | | | | | | | | | | | | | |
| Espesor Lecho Filtrante | Exce-siva | Insufi-Ciente. | | | | | | | | | | | | | | |

CUADRO 5.2.4.(Continuación).

| EVALUACION | OBJETIVO | EQUIPOS/MATERIALES | PROCEDIMIENTO | INTERPRETACION |
|---------------------------------|---|---|--|--|
| <p>Número de Filtrabilidad.</p> | <p>Determinar la filtrabilidad en función de las parámetros de los procesos: coagulación y/floculación, tales como dosis de coagulante, gradientes de velocidad, etc.</p> | <ul style="list-style-type: none"> •Equipo de Prueba de Jarras. •Turbidímetro. •Filtro Piloto a nivel de laboratorio, de sección recta, con piezómetro (con cuerpo principal de vidrio diámetro interno 0,5 a 1 mm, con extremo inferior que penetre en fondos del medio filtrante). •Coagulantes, otros productos químicos tales como ayudantes de coagulación, etc. | <p>Realizar los ensayos normales de coagulación, floculación, sedimentación en el equipo de prueba de jarras. Registrar la turbiedad del agua producida (To).</p> <p>Colocar el embudo de carga sobre el filtro piloto.</p> <p>Cubrir el medio filtrante del filtro piloto con una capa de agua de altura (H).</p> <p>Calibrar: Regular el flujo en el filtro piloto mediante la válvula inferior del filtro piloto y mediante la llave del vástago del embudo (de carga), manteniendo H cte.</p> <p>Drenar, luego llenar en forma ascendente con agua limpia nuevamente hasta el nivel (H). Abrir las llaves a las posiciones calibradas. Filtrar 1 o 2 litros de agua producida en la prueba de jarras, de Turbiedad (To). Determinar la Turbiedad final (Tf), la pérdida de carga (lectura del piezómetro con respecto al nivel H), el tiempo de filtrado, la temperatura del agua.</p> | <p>Calcular el Número de Filtrabilidad, F :</p> $F = \frac{T_f \cdot \Delta h_f}{V_f \cdot T_o \cdot t}$ <p>Δh_f = Pérdida de carga (m)</p> <p>T_f = Turbiedad Final (m)</p> <p>T_o = Turbiedad Inicial (m)</p> <p>t = tiempo de filtrado (min)</p> <p>V_f = Velocidad de filtración (m/min)</p> <p>Correlacionar el número de filtrabilidad (F) con uno de los parámetros de los procesos de coagulación y/o floculación. Seleccionar el valor de dicho parámetro, correspondiente al menor número de filtrabilidad.</p> |

5.3. ENSAYO CON TRAZADORES.

El ensayo con trazadores permite hacer un diagnóstico del tipo de flujo en cualquier unidad de la planta de procesos.

Analizando el régimen de flujo en diferentes sistemas de floculación hidráulica o de decantadores laminares, se observa que raramente el flujo se comporta como ideal. Es de gran importancia el conocimiento del comportamiento hidrodinámico de una unidad de tratamiento, a fin de establecer desviaciones de los modelos hidráulicos admitidos en la unidad de proceso. los regímenes de flujo, en pistón, o en mezcla, o en ambos, e identificar comportamientos hidráulicos no ideales. (detección de zonas muertas, canales preferenciales, cortocircuitos, etc.), que reducen la eficiencia de operación.

5.3.1. CONCEPTO DEL ENSAYO.

El ensayo se es una técnica de estímulo-respuesta:

Los estudios con trazadores consisten en la adición de un trazador inerte en el flujo de ingreso a una unidad de proceso y en la medida de la concentración del trazador en el efluente del proceso o en varios puntos de la unidad.

El flujo de mezcla ideal se caracteriza por presentar una mezcla perfecta, proporcionada por la agitación de fluido, igualando la concentración a la salida de la unidad de proceso igual al del interior de la unidad.

En flujos no ideales, pueden surgir desviaciones de la idealidad, de forma más o menos acentuada. Las posibles causas de esas desviaciones están relacionadas con la existencia de espacios muertos en el interior de las unidades, la recirculación interna de materiales, los caminos preferenciales para los elementos, etc.

De ésa forma, los elementos de fluido recorren diferentes caminos en la unidad y sus tiempos de residencia serán diferentes entre sí. Se puede plotear una curva de distribución de edades de salida, que es una curva normalizada de área unitaria, bastante común en ensayos estadísticos.

Algunos métodos pueden ser aplicado para caracterizar el grado de no idealidad de flujo. Uno de ellos consiste en la técnica de estímulo-respuesta, en la cual se perturba el sistema através de la entrada de trazador, que es una sustancia inerte, en flujo paralelo al flujo principal. Después del estímulo inicial, se registra el tiempo que el trazador lleva para abandonar el recipiente. Las formas de perturbación pueden ser por ejemplo del tipo escalón o del tipo impulso.

La información del trazador es usada directamente en un conjunto de modelos de flujo para preveer el desempeño de las unidades de proceso. El ploteo completo de la distribución de velocidades de flujo es realizado a través de la distribución del tiempo de residencia (TDR) o de la curva E (la curva de distribución de la edad de salida), siendo necesario para el completo entendimiento del comportamiento hidráulico de la unidad.

La evaluación es realizada con ayuda del auxilio de técnicas de estímulo - respuesta, utilizando una solución de trazador de concentración conocida fácilmente detectable y que no participe de ningún proceso físico o químico que transforme o altere la hidrodinámica del fluido para que la distribución obtenida corresponda fielmente a la del fluido del proceso, pues, en verdad, lo que se obtiene es el TDR del trazador. Además, debe elaborarse un modelo de flujo hidrodinámico que describa el comportamiento del trazador, desde su inyección el mismo a la corriente líquida hasta la salida.

Un importante aspecto ha ser considerado es la selección del trazador y su peso molecular, pues está asociado con la capacidad de difusión del mismo. La difusividad del trazador es un fenómeno no hidráulico, induciéndose a no representar con exactitud el comportamiento del fluido tal cual. Basándose en el hecho que la difusión es inversamente proporcional al peso molecular de la sustancia, debe preferirse un trazador con alto peso molecular.

Se puede evaluar la precisión de los trazadores através del comportamiento de las curvas TDR (dispersión de Gauss), obtenidas de éstos estudios (técnicas estímulo respuesta), determinándose el tiempo de residencia medio (\bar{t}), la varianza (σ^2), y la cantidad detectada de trazador.

El método del trazador consiste en la introducción de una cierta cantidad en la corriente principal del fluido. Se puede obtener de esa forma, una curva que registra la distribución de las edades de los elementos que abandonan la unidad, llamada curva C , através de las determinaciones de las concentraciones del trazador en diversas muestras colectadas secuencialmente. Luego, del gráfico concentración - tiempo (*curva C*), se puede estimar el área bajo la curva, denotada por Q , determinándose así el valor de E de cada muestra através de

ecuación (1),
$$E = \frac{C}{Q} \dots\dots\dots (1)$$

Donde C representa la concentración de cada muestra. El área bajo la curva puede ser estimada por la ecuación (2):

$$Q = \int_0^{\infty} C(t).dt \dots\dots\dots (2)$$

En el caso que se dispongan de pocos puntos, se puede emplear la simplificación dada por la ecuación (3)

$$Q = \sum_1^n C_i \cdot \Delta t_i \dots\dots\dots (3)$$

$$\int_0^{\infty} E dt = 1 \dots\dots\dots (4)$$

En el caso que se dispongan de pocos puntos, $E_i = \frac{C_i}{\sum_i C_i \Delta t_i}$ (5)

En el gráfico E versus tiempo, t , el área subtendida bajo la curva entre dos valores t_1 y t_2 , o entre t_1 e infinito, representa un determinado porcentaje o fracción de la corriente de salida, la cual se distribuye entre $-\infty$ y $+\infty$.

Así, la fracción de corriente de salida con tiempo de residencia mayor que t , será

$$\int_t^{\infty} E \cdot dt = \text{Fracción con tiempo de residencia mayor que } t \quad \text{..... (6)}$$

La fracción $F(t)$ de la corriente de salida con edad inferior a t ,

$$F(t) = \int_0^t E \cdot dt \quad \text{..... (7)}$$

El tiempo medio de residencia (TDR), \bar{t} del fluido, es calculado por,

$$\bar{t} = \frac{\int_0^{\infty} t \cdot C(t) \cdot dt}{\int_0^{\infty} C(t) \cdot dt} \quad \text{..... (8)}$$

Para el caso que se disponen de pocos valores experimentales, se puede emplear la ecuación (8)

$$\bar{t} = \frac{\sum_1^n t_i \cdot C_i \cdot \Delta t_i}{\sum_1^n C_i \cdot \Delta t_i} \quad \text{..... (9)}$$

Haciendo, $\theta = \frac{t}{\bar{t}}$ (10)

La fracción $F(\theta)$ de la corriente de salida con edad inferior a θ :

$$F(\theta) = \int_0^{\theta} E_{\theta} \cdot d\theta \quad \text{.....(11)} \quad , \quad \text{donde} \quad E_{\theta} = \frac{C}{\int_0^{\theta} C \cdot d\theta} \quad \text{.....(12)}$$

El parámetro estadístico, varianza (σ^2) representa el efecto de dispersión de la distribución de edades, y puede ser calculado por la ecuac. (9):

$$\sigma^2 = \frac{\sum_1^n t_i^2 \cdot C_i \cdot \Delta t_i}{\sum_1^n C_i \cdot \Delta t_i} - \bar{t}^2 \quad \dots\dots\dots(13)$$

En general, si el valor de la varianza (σ^2) es grande, se tiene una gran dispersión, y el desviación de la idealidad es grande. Por otro lado, si el valor fuera pequeño, se tiene poca dispersión y pequeño desvío de la idealidad.

El tiempo de retención hidráulico (TDH), así como la varianza (σ^2), son importantes para la determinación del régimen de flujo del trazador, pues algunos modelos clásicos actuales como el de dispersión axial, y de tanques en serie, y algunos modelos semiempíricos requieren ésta información para su aplicación.

Para cuantificar el tiempo de retención hidráulico:

$$TDH_{IDEAL} = \frac{V_{total}}{Caudal}, \quad \dots\dots\dots (14)$$

V_{total} = Volúmen total del agua en la unidad.

Esta ecuación supone un patrón de comportamiento de flujo ideal que no considera los cortocircuitos y corrientes de refluo que producen zonas muertas.

Es importante resaltar que al final de cualquier experimento el trazador debe ser recuperado completamente (100%).

5.3.2. MODELO DE DISPERSION AXIAL

El fenómeno de dispersión axial es descrito matemáticamente por la siguiente ecuación diferencial parcial,

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad \dots\dots\dots (15)$$

Donde D es el coeficiente longitudinal o axial de dispersión, que caracteriza un grado de mezcla durante el flujo..

Consideremos el flujo en un volúmen de longitud L y de sección normal S , a través del cual circula un fluido con velocidad constante u , y en el cual el material se mezcla axialmente (en la dirección de flujo, \bar{l}) con un coeficiente de dispersión D .

Con relación a un volúmen elemental, de sección normal S , de longitud Δl , un balance de materia para el trazador:

Entrada = Salida + Acumulación.

Entrada por flujo global + Entrada por dispersión = Salida por flujo global + Salida por dispersión + Acumulación

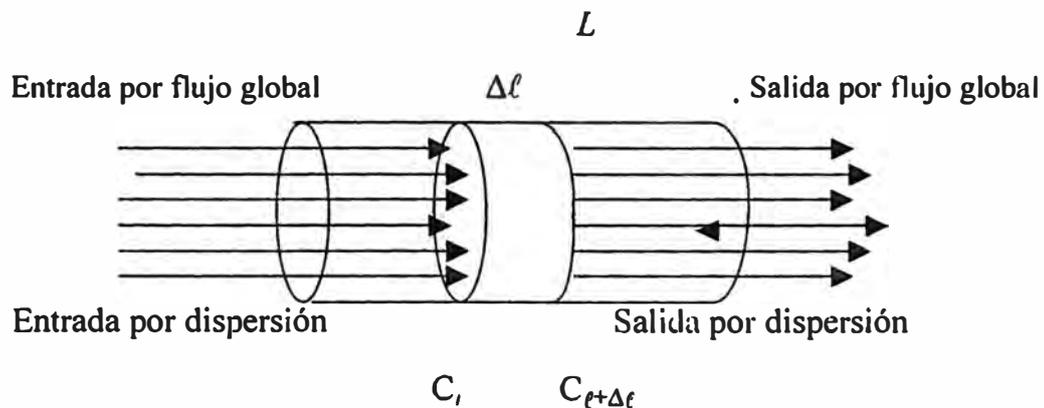
Entrada por flujo global = $C_l \cdot u \cdot S$

Salida por flujo global = $C_{l+\Delta l} \cdot u \cdot S$

Entrada por dispersión axial = $-D \cdot S \cdot \left(\frac{\partial C}{\partial l} \right)_l$

Salida por dispersión axial = $-D \cdot S \cdot \left(\frac{\partial C}{\partial l} \right)_{l+\Delta l}$

Acumulación = $S \cdot \Delta l \cdot \left(\frac{\partial C}{\partial t} \right)$



S = sección transversal al flujo

$$C_l \cdot u \cdot S - D \cdot S \cdot \left(\frac{\partial C}{\partial l} \right)_l = C_{l+\Delta l} \cdot u \cdot S - D \cdot S \cdot \left(\frac{\partial C}{\partial l} \right)_{l+\Delta l} + S \cdot \Delta l \cdot \left(\frac{\partial C}{\partial t} \right)$$

De donde,

$$u \left(\frac{C_{l+\Delta l} - C_l}{\Delta l} \right) - D \left(\frac{\partial C}{\partial l} \right)_{l+\Delta l} - \left(\frac{\partial C}{\partial l} \right)_l + \left(\frac{\partial C}{\partial t} \right) = 0 \quad \dots \dots \dots (16)$$

Cuando $\Delta l \rightarrow 0$,
$$u \frac{\partial C}{\partial l} - D \frac{\partial^2 C}{\partial l^2} + \frac{\partial C}{\partial t} = 0$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial l^2} - u \frac{\partial C}{\partial l} \dots\dots\dots (17)$$

En forma adimensional, haciendo

$$z = \frac{l}{L} \dots\dots\dots (18)$$

$$\theta = \frac{t}{\bar{t}} = \frac{t}{L} u \dots\dots\dots (19)$$

\bar{t} = Tiempo de residencia.

$$\frac{\partial C}{\partial \theta} = \left(\frac{D}{uL} \right) \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - \frac{\partial C}{\partial z} \dots\dots\dots(20)$$

Donde $\frac{D}{uL}$ representa el número de dispersión axial.

Si $\frac{D}{uL}$ tiende a cero, la dispersión es despreciable, caracterizando un régimen de

flujo tipo pistón, y si $\frac{D}{uL}$ tiende a valores muy grandes, la dispersión es grande,

y por tanto el flujo es en mezcla completa.

Grado de Dispersión pequeño

Si un impulso ideal es impuesto a un fluido que está en circulación se observa una modificación en esa pulsación debido a la dispersión. Para dispersiones de pequeñas intensidades, la dependencia de E con el tiempo puede ser representada como una familia de curvas del modelo de distribución Normal o de Gauss.

$$E_t = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp \left(- \frac{(t - \bar{t})^2}{2\sigma^2} \right) \dots\dots\dots (21)$$

En función de $\theta = \frac{t}{\bar{t}}$:

$$E_{\theta} = \frac{1}{\sigma_{\theta} \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(1-\theta)^2}{2\sigma_{\theta}^2}\right) \dots\dots\dots (22)$$

Para la cual la media, $\bar{\theta}$ es la unidad ,

y las varianzas son :

$$\sigma_{\theta}^2 = \frac{\sigma^2}{\bar{t}^2} = 2\left(\frac{D}{uL}\right) \dots\dots\dots(23)$$

$$\sigma_{\theta} = \frac{2DL}{u^3} \dots\dots\dots (24)$$

Es decir:
$$E_{\theta} = \frac{1}{2\sqrt{\pi} \frac{D}{uL}} \exp\left(-\frac{(1-\theta)^2}{4\left(\frac{D}{uL}\right)}\right) \dots\dots\dots (25)$$

Con error menor al 5%, cuando $\frac{D}{uL} < 0,01$

Con error menor al 0,5%, cuando $\frac{D}{uL} < 0,001$

Dispersión de Gran Intensidad :

En recipientes cerrados: La curva E_{θ} es obtenida por métodos numéricos,

$$\sigma_{\theta}^2 = \frac{\sigma^2}{\bar{t}^2} = 2\frac{D}{uL} - 2\left(\frac{D}{uL}\right)^2 \left(1 - e^{-\frac{uL}{D}}\right) \dots\dots\dots (26)$$

En recipientes abiertos: La curva E_θ es afectada por las condiciones en el punto de inyección a través de dos mecanismos:

Registro de la concentración del trazador y la proporción que pasa por el punto de medición (registro en línea).

Colecta sucesiva de muestras en recipientes y determinación de la concentración del trazador en cada una de ellas.

Se considera el último caso cuando existe perturbación al flujo durante la colección de muestras, se aproxima más al caso de recipientes cerrados.

Cuando el registro es en línea en recipientes abiertos, o cuando se realiza la colecta de muestras sin perturbación al flujo (caso de gran flujo), la curva E_θ puede representarse por:

$$E_\theta = \frac{1}{2\sqrt{\pi\theta\frac{D}{uL}}} \exp\left(-\frac{(1-\theta)^2}{4\theta\left(\frac{D}{uL}\right)}\right) \dots\dots\dots (27)$$

con varianza adimensional,

$$\sigma_\theta^2 = \frac{\sigma^2}{t^2} = 2\frac{D}{uL} + 8\left(\frac{D}{uL}\right)^2 \dots\dots\dots (28)$$

6. TEORIA DE DISEÑO APLICADO.

6.1. TEORIA DE DISEÑO DE FLOCULADORES HIDRAULICOS DE FLUJO HORIZONTAL- RESUMEN.

6.1.1. Aglomeración de partículas – Floculación

Una vez dispersados los coagulantes hay que producir una lenta agitación en el agua para permitir el crecimiento del floc. Este crecimiento es producido por el contacto entre partículas debido al gradiente de velocidad.

Los objetivos que se persiguen la floculación son:

- 1º) Reunir los microfloculos para formar partículas mayores con peso específico superior al agua
- 2º) Compactar el floc, disminuyendo su grado de hidratación para aumentar su peso y facilitar la sedimentación.

6.1.2 Gradiente de Velocidad y Turbulencia.

En el flujo turbulento en un lugar y tiempo dado se forman continuamente grandes vórtices que se rompen en otros más pequeños los cuales finalmente desaparecen. Los vórtices son tan pequeños como 0,1 mm o tan grandes como las dimensiones más grandes de los remolinos turbulentos. El flujo dentro de un vórtice es laminar.

La velocidad es fluctuante en todas las direcciones en flujo turbulento.

La variación de la velocidad instantánea v_x en la dirección x:

$$v_x = \bar{v}_x + v'_x \quad \dots\dots\dots (30)$$

$$\bar{v}_x = \frac{1}{t} \int_0^t v_x dt = \text{velocidad promedio en la dirección x, en el tiempo t} \quad \dots\dots\dots (31)$$

v'_x = desviación o fluctuación de la desviación instantánea en x

Estas fluctuaciones pueden además ocurrir en la dirección y , y z

$$v_y = \bar{v}_y + v'_y = \text{velocidad instantánea en la dirección y} \quad \dots\dots\dots (32)$$

v'_y = desviación o fluctuación de la desviación instantánea en y .

$$v_z = \bar{v}_z + v'_z = \text{velocidad instantánea en la dirección z} \quad \dots\dots\dots (33)$$

v'_z = desviación o fluctuación de la desviación instantánea en z. A su vez el promedio de las fluctuaciones de la velocidad en x son cero, $\bar{v}'_x = 0$. En forma similar el promedio de las fluctuaciones de la velocidad en y , y en la dirección z, serán cero. $\bar{v}'_y = 0$, $\bar{v}'_z = 0$.

En un fluido en flujo turbulento las fuerzas de corte que ocurren , y los gradientes de velocidad a través de cada plano de corte son mucho mayores que los que ocurren en flujo laminar.

Los componentes de flujo de momento turbulento o esfuerzos de Reynolds, $\bar{\tau}'_{xx} = \rho \cdot \overline{v'_x v'_x} \dots\dots(34)$; $\tau'_{yx} = \rho \cdot \overline{v'_x v'_y} \dots\dots(35)$; $\tau'_{zx} = \rho \cdot \overline{v'_x v'_z} \dots\dots(36)$

En el modelo semiempírico para evaluar los esfuerzos de flujo turbulento, según Boussinesq, planteado en analogía al esfuerzo de corte en flujo laminar:

$$\bar{\tau}'_{yx} = -\eta_{turb} \frac{d\bar{v}'_x}{dy} \quad \dots\dots\dots (36)$$

donde η_{turb} = viscosidad de vórtice o viscosidad turbulenta $\dots\dots\dots (37)$

la cual es función de la posición y el flujo.

Prandtl asumió que la fluctuación de velocidad v'_x es debido a un remolino, una pequeña porción del fluido que pierde gradualmente su identidad, pero que la retiene transitando por una distancia muy pequeña :la longitud media o escala de turbulencia , λ . Luego:

$$v'_x = \lambda \frac{d\bar{v}'_x}{dy} \quad \dots\dots\dots (38)$$

Prandtl asumió además que $v'_x \approx v'_y$, luego el promedio,

$$\overline{v'_x v'_y} \quad \text{es} \quad \overline{v'_x v'_x} = \lambda^2 \left| \frac{dv'_x}{dy} \right| \quad \dots\dots\dots (39)$$

$$\tau'_{yx} = \rho \cdot \lambda^2 \left| \frac{d\bar{v}_x}{dy} \right|^2 \dots\dots\dots (40)$$

La potencia disipada por unidad de volumen debido al esfuerzo de corte en el

plano yx , será igual a: $\tau'_{yx} \left(\frac{d\bar{v}_x}{dy} \right)$

$$\text{Potencia por unidad de volumen} = \rho \cdot \lambda^2 \frac{d\bar{v}_x^3}{dy} \dots\dots\dots (41)$$

$$\text{Donde, } \frac{d\bar{v}_x}{dy} = \text{gradiente de velocidad} \dots\dots\dots (42)$$

6.1.3 Diseño de Floculadores Hidráulicos de Flujo Horizontal.

Tres características esenciales definen la floculación:

- a) La forma de producir la agitación
- b) El gradiente de velocidad, G.
- c) El tiempo de detención o permanencia, t.

Tanto el gradiente de velocidad como la permanencia óptima varían según el tipo de agua y se deben hallar por experimentación.

La velocidad con que se unen las partículas para formar el floc está determinada por el número de contactos entre las mismas en la unidad de tiempo. Este número de contactos en un punto determinado del fluido en movimiento es directamente proporcional al gradiente de velocidad, a la concentración de partículas y al tamaño de las mismas.

Por otra parte, según experiencias realizadas por Camp, la concentración del floc es inversamente proporcional al gradiente de velocidad, G y a la permanencia t. Esto quiere decir que es posible variar el volumen del floc cambiando la energía que se le comunique a la masa líquida o la permanencia en el floculador.

Al aumentar el gradiente de velocidad el floc se hace más pequeño pero a la vez más compacto, teniendo una mayor velocidad de sedimentación. Por el contrario, el floc producido con baja velocidad de agitación o gradiente es grande y esponjoso y sedimenta con dificultad.

El gradiente de velocidad dimensionalmente tiene unidades de la inversa del tiempo:

$$|G| = \left| \frac{dV}{dy} \right| = \frac{L}{T} \cdot \frac{1}{L} = \frac{1}{T} \quad \dots\dots\dots (43)$$

y generalmente es expresado en seg^{-1} .

Camp calculó el valor de G para un gran número de plantas en funcionamiento cuyos resultados eran satisfactorios, pudiendo establecer para G el entorno de 10 seg^{-1} a 75 seg^{-1} . Para el producto G.t el rango fue de 10000 a 100000.

Se mencionó que a mayores gradientes de velocidad, menores son los tamaños de los flocs pero más compactos, por lo tanto, es razonable efectuar la floculación en varias tapas (2 o más) en una serie de depósitos con gradientes de velocidad decrecientes. Usualmente el valor de 75 seg^{-1} al principio y al final alrededor de 20 seg^{-1} .

Los Floculadores Hidráulicos derivan su energía para la agitación de la masa líquida, de la carga de velocidad que el flujo adquiere al escurrir por un conducto. Consisten en tanques provistos de pantallas entre los cuales el agua circula con una velocidad fija, produciendo cierta turbulencia en cada cambio de dirección del flujo. En los primeros el flujo va y viene alrededor de los tabiques haciendo un giro de 180° al final de cada uno. En los segundos el flujo sube y baja en condiciones similares.

En la práctica actual, el Gradiente de Velocidad, G es el único parámetro de diseño para los floculadores reales. En estos floculadores la potencia consumida se calcula de la extensión de expresiones deducidas de la ecuación de Newton para flujo laminar:

Para flujo laminar la potencia disipada por unidad de volumen debido al esfuerzo de corte en el plano yx, será igual a: $\tau_{yx} \left(\frac{dV_x}{dy} \right)$

Donde el esfuerzo de corte, de la Ley de Newton: $\tau_{yx} = -\mu \left(\frac{dV_x}{dy} \right) \dots\dots\dots (44)$.

Luego la potencia disipada por unidad de volúmen diferencial $dV_x \cdot dV_y \cdot dV_z$, debido al esfuerzo de corte en el plano yx , será igual a: $\mu \cdot \frac{dv_x}{dy}^2$

$$\text{De donde } \frac{dv_x}{dy} = \left(\frac{\text{Potencia}}{\text{Volúmen}} \right) \left(\frac{1}{\mu} \right) \dots\dots\dots (45)$$

Camp y Stein generalizaron la ecuación específica anterior para flujo laminar, y potencia de esfuerzo de corte unidireccional por unidad de volúmen diferencial, al gradiente de mezcla (G) promedio en todo el floculador (donde en realidad el flujo puede ser más bien de transición o turbulento), por unidad de volúmen del agua en el floculador. Es decir a partir de la Potencia de agitación en el floculador, se calcula el gradiente de velocidad G:

$$G = \left(\frac{\text{Pot}}{V} \right) \left(\frac{1}{\mu} \right) \dots\dots\dots (46)$$

V = volúmen floculador

$$G = \sqrt{\frac{g \cdot \rho \cdot h_f}{t \cdot \mu}} \dots\dots\dots (47)$$

Donde t es TDH_{IDEAL}

$$TDH_{IDEAL} = \frac{V}{Q}, \dots\dots\dots (10)$$

V = Volúmen total del agua en la unidad.

Q = Caudal

h_f = pérdida de carga durante floculación

l = longitud recorrida por del fluído en el floculador hidráulico

V = velocidad del fluído en el floculador hidráulico

$$G = \sqrt{\frac{g \cdot \rho \cdot h_f \cdot Q}{V \cdot \mu}} \dots\dots\dots (48)$$

$$G = \frac{g \cdot \rho \cdot h_f \cdot v}{l \cdot \mu} \dots\dots\dots (49)$$

De estas expresiones se desprende que la potencia disipada y por lo tanto el gradiente de velocidad dependen de la pendiente hidráulica $\frac{h_f}{l}$ o sea que cuanto mayor pérdida de carga h_f se produzca en la distancia l , mayor gradiente de velocidad, G se consigue.

Se produce una pérdida de carga h_f , que tiene los siguientes componentes:

- a. Por el cambio de dirección y turbulencia, en las vueltas h_1
- b. Por la fricción en los tramos rectos, h_2

La suma de las tres pérdidas constituye la pérdida total h_f .

En los floculadores horizontales h_1 es proporcional a la carga de velocidad $\frac{V^2}{2g}$, es decir,

$$h_1 = (N - 1) \cdot K \cdot \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots (50)$$

, donde $K = cte$., y $N =$ número de canales.

La velocidad v promedio suele variar entre 0,2-0,6 m/seg. Normalmente se proyectan estos floculadores haciendo 2 o 3 sectores, incrementando el espaciamiento de las pantallas de forma de producir una alta velocidad al principio y baja al final. El coeficiente K varía entre 2 y 4, lo más frecuente $K = 3$. La pérdida de carga h_2 se calcula con la fórmula de Manning (pérdida de carga en canales rectangulares).

La desventaja que tienen estos floculadores es que se puede producir más pérdida de carga y por lo tanto mayor gradiente de velocidad en los giros a 180° que en tramos rectos. Por lo tanto es conveniente disminuir la velocidad en los giros para evitar la rotura del floc. Es aconsejable una velocidad no mayor de 0,15 a 0,20 m/seg. También se aconseja que el espaciamiento entre el extremo del tabique y el muro sea igual a 1,5 veces la separación entre tabiques.

Cuando la variación de caudales es muy grande es conveniente proyectar pantallas móviles para evitar la variación de velocidades. Cuando se proyectan floculadores de este tipo generalmente se los divide en 2 o 3 compartimentos con gradientes de velocidades decrecientes

Para su cálculo se procede de la siguiente manera:

Conocido el caudal Q , se adopta una permanencia t en minutos, el número de compartimentos y una secuencia de gradientes de velocidad según los valores óptimos de éstos parámetros de floculación establecidos previamente por la Prueba de Jarras. Es decir un gradiente de velocidad G de canales diferente para cada compartimento, con valores de mayor a menor desde el primer al último compartimento.

El tiempo de permanencia se divide en el número de compartimentos, t_1, t_2, t_3 , etc. Se adoptan las velocidades de escurrimiento en cada uno de los sectores, mayor en el primer sector, menor en el segundo, y menor en el tercero, etc. tratando de no sobre pasar los 0,20 m/seg., para el primero. Luego se calcula la longitudes de los canales:

$$L_1 = V_1 \cdot t_1$$

$$L_2 = V_2 \cdot t_2 \quad \dots\dots\dots (51)$$

$$L_3 = V_3 \cdot t_3$$

La sección de los canales de cada tramo o compartimento:

$$A_1 = \frac{Q}{V_1}, \quad A_2 = \frac{Q}{V_2}, \quad A_3 = \frac{Q}{V_3} \quad \dots\dots\dots (52)$$

Adoptando una altura de agua, H en los canales, las separaciones entre tabiques o pantallas para cada tramo serán:

$$a_1 = \frac{A_1}{H}, \quad a_{21} = \frac{A_2}{H} \quad \dots\dots\dots (53)$$

Es espaciamiento entre la punta del tabique y la pared

$$e_1 = 1,5 a_1, \quad e_2 = 1,5 a_2, \quad e_3 = 1,5 a_3 \quad \dots\dots\dots (54)$$

El ancho del tanque de floculación será para cada tramo:

$B_1 =$ ancho del tanque tramo 1

$B_2 =$ ancho del tanque tramo 2

$B_3 =$ ancho del tanque tramo 3

Generalmente la dimensión B es única para todos los tramos.

El número de tabiques será para cada tramo:

$$N_1 = \frac{L_1}{B_1}, \quad N_2 = \frac{L_2}{B_2}, \quad N_3 = \frac{L_3}{B_3}, \quad \dots \quad (55)$$

El espesor del tabique es el espesor de la placa, con que se construyen éstos floculadores. Las placas pueden ser de asbesto cemento de ancho 2,40 mts (1,20 m x 2,40 m).

El gradiente de velocidad se calcula, para cada tramo, con las fórmulas ya vistas. Se debe tener en cuenta de no sobrepasar para G_1 del valor de 60_s^{-1} . Si así ocurriera se deben modificar los parámetros adoptados.

6.2 TEORIA DE DISEÑO DE DECANTADORES DE ALTA TASA-RESUMEN

El diseño de decantadores laminares o decantadores de alta tasa, se basa en las siguientes consideraciones:

- 1) Flujo laminar
- 2) Flujo unidimensional
- 3) Partículas discretas en suspensión.

La ecuación del movimiento de una partícula discreta, suspendida en flujo laminar, es:

$$m \frac{dv_p}{dt} = (\rho_{PARTICULA} - \rho) Vol_{PARTICULA} \cdot g - F_d \quad \dots\dots\dots (56)$$

m = masa de la partículas, en Kg

v_p = velocidad de la partícula, en m/s.

$Vol_{PARTICULA}$ = volúmen de la partícula, en m^3 .

t = Tiempo (seg)

$\rho_{PARTICULA}$ = densidad del fluido (kg/m^3)

ρ = densidad del fluido, kg/m^3

F_d = Fuerza de arrastre del fluido (N)

La fuerza de arrastre F_d está dada por la ecuación:

$$F_d = 3 \pi \mu \cdot d \cdot (v_p - v) \quad \dots\dots\dots (57)$$

donde V = velocidad local del fluido (m/s).

d = diámetro de la partícula.(m)

μ = viscosidad dinámica (Kg/m.s)

Despreciando los efectos de inercia, $m \frac{dv_p}{dt} = 0$

$$v_p - v = \frac{(\rho_p - \rho) Vol_p \cdot g}{3 \pi \cdot \mu \cdot d} \quad \dots\dots\dots(58)$$

En la siguiente figura (6.2.1) se muestra el sistema de coordenadas, en el cual el eje x es paralelo a la dirección de flujo, θ es el ángulo entre el eje x y la horizontal, u , es la velocidad en el punto P, en la dirección x .

V_s = Velocidad de sedimentación de la partícula.

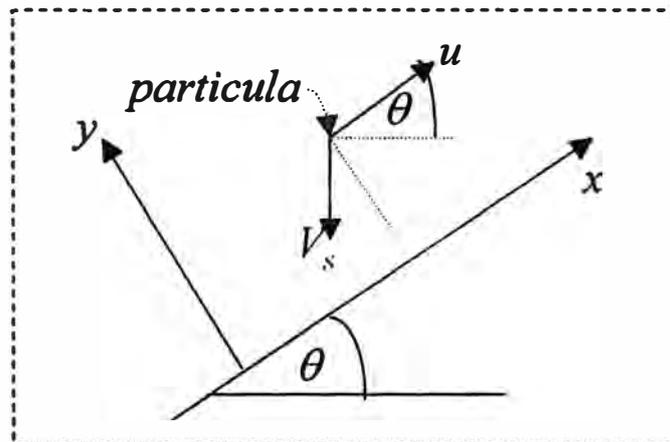


Figura 6.2.1 .- Movimiento de la partícula en el Sistema de Coordenadas.

$$V_p = v_{p,x} \mathbf{i} + v_{p,y} \mathbf{j} \quad \dots\dots\dots (59)$$

$$v_{p,x} = u - V_s \cdot \text{Sen } \theta = \frac{dx}{dt}$$

$$v_{p,y} = -V_s \cdot \text{Cos } \theta = \frac{dy}{dt} \quad \dots\dots\dots(60)$$

$$\frac{v_{p,x}}{v_{p,y}} = \frac{u - V_s \cdot \text{Sen } \theta}{-V_s \cdot \text{Cos } \theta} \quad \dots\dots\dots (61)$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{-V_s \cdot \text{Cos } \theta}{u - V_s \cdot \text{Sen } \theta} \quad \dots\dots\dots (62)$$

Esta ecuación diferencial representa la trayectoria de la partícula, e integrada resulta ser:

$$\int u \cdot dy - V_s \cdot \text{Sen } \theta \cdot y + V_s \cdot \text{Cos } \theta \cdot x = c_0 \quad \dots\dots\dots (63)$$

Si llamamos,

V_o , a la velocidad media de flujo entre las placas, y

m , a la profundidad útil o distancia entre placas de escurrimiento,

y dividimos la ecuación anterior entre $(V_o \cdot m)$:

$$\int \left(\frac{u \cdot dy}{V_o \cdot m} \right) - V_s \cdot \frac{\text{Sen } \theta}{V_o \cdot m} \cdot y + V_s \cdot \frac{\text{Cos } \theta}{V_o \cdot m} \cdot x = \frac{c_0}{V_o \cdot m} \quad \dots\dots\dots (64)$$

Haciendo, $Y = \frac{y}{m}$, $X = \frac{x}{m}$, $C_1 = \frac{C_o}{V_o \cdot m}$, se obtiene,

$$\int \frac{u \cdot dY}{V_o} - V_s \cdot \frac{\text{Sen } \theta}{V_o} \cdot Y + V_s \cdot \frac{\text{Cos } \theta}{V_o \cdot m} \cdot X = C_1 \quad \dots\dots\dots (65)$$

Esta ecuación representa la trayectoria de una partícula, donde los valores C_1 , $\int \frac{u}{V_o} dY$, pueden determinarse para situaciones particulares, como se muestra en el cuadro adjunto. Donde L , es la Longitud Equivalente, $L = \frac{l}{m}$.

| Tipo de Sedimentador de Alta Rata | C_1 | $\frac{u}{V_o}$ |
|-----------------------------------|--|-----------------|
| Placas Planas Paralelas | $\frac{V_s}{V_o} \cdot L \cdot \text{Cos } \theta$ | $6(Y - Y^2)$ |
| Tubos | $\frac{V_s}{V_o} \cdot L \cdot \text{Cos } \theta$ | $8(Y - Y^2)$ |

La ecuación (65) aplicada a placas paralelas, entonces:

$$6\left(\frac{Y^2}{2} - \frac{Y^3}{3}\right) - V_s \cdot \frac{\text{Sen } \theta}{V_o} \cdot Y + V_s \cdot \frac{\text{Cos } \theta}{V_o} \cdot X = \frac{V_s}{V_o} L \text{Cos } \theta \quad \dots\dots\dots(66)$$

La ecuación (66) representa una familia de curvas que alcanzan el punto B.

Para la curva límite, cuando $y = m$ es decir, $Y = 1$ y $X = 0$, se tiene que la ecuación (66) se simplifica, entonces:

$$1 = \frac{V_s}{V_o} (\text{Sen } \theta + L \text{Cos } \theta) \quad \dots\dots\dots (67)$$

Figura 6.2.2.-

Esquema de la trayectoria límite de una partícula que alcanza el punto B.

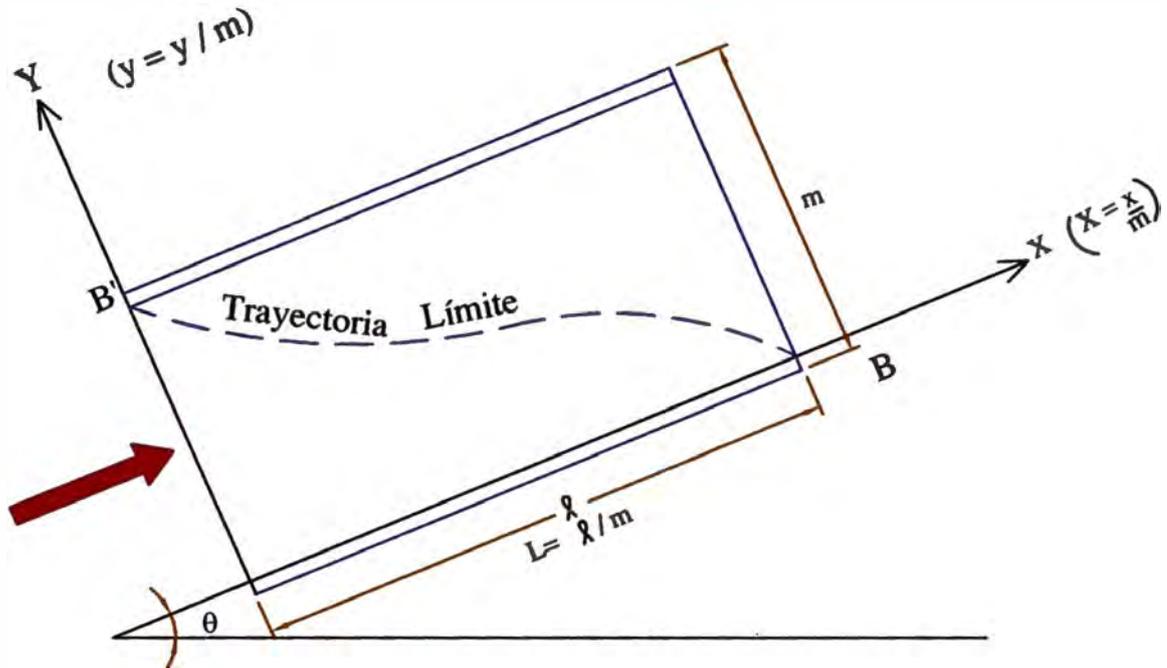
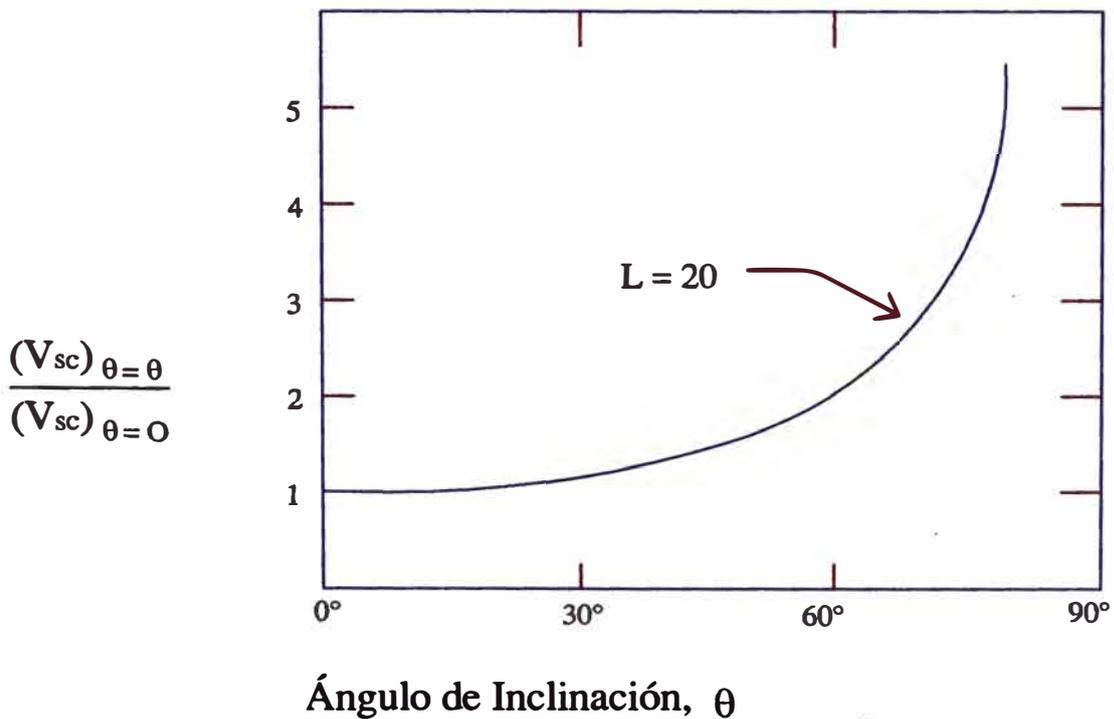


Figura 6.2.3.-

Influencia del ángulo de inclinación en la velocidad de sedimentación.



Generalizando la ecuación anterior puede ser escrita en la siguiente forma:

$$s = \frac{V_s}{V_o} (\text{Sen } \theta + L \text{Cos } \theta) \dots\dots\dots (68)$$

El Parámetro S caracteriza la eficiencia del sedimentador, y su valor crítico para placas paralelas (módulo de eficiencia de las placas) es, $s_{\text{CRITICO}} = 1$.

$$s_{\text{CRITICO}} = \frac{V_{sc}}{V_o} (\text{Sen } \theta + L \text{Cos } \theta) \dots\dots\dots (69)$$

Cualquier partícula con $S > s_{\text{CRITICO}}$ tendrá una velocidad de sedimentación V_s superior a V_{sc} , la velocidad de sedimentación crítica, y será teóricamente removida.

La ecuación (67) es la ecuación básica de diseño de un decantador de placas.

Donde V_o , la velocidad media de flujo, se obtiene dividiendo el flujo Q que entra al decantador por su área superficial A_s proyectada perpendicularmente a las placas.

A_s = Area superficial del decantador

A_o = Area perpendicular a las placas.

$$A_o = A_s \text{Sen } \theta \dots\dots\dots (70)$$

$$V_o = \frac{Q}{A_o} = \frac{Q}{A_s \text{Sen } \theta} \dots\dots\dots (71)$$

De la ecuación (67):

$$V_s = \frac{V_o}{(\text{Sen } \theta + L \text{Cos } \theta)} \dots\dots\dots (72)$$

$$V_s = \frac{Q}{A_s \text{Sen } \theta . (\text{Sen } \theta + L \text{Cos } \theta)} \dots\dots\dots (73)$$

$$f = \text{Sen } \theta . (\text{Sen } \theta + L \text{Cos } \theta), \dots\dots\dots (74)$$

f = factor de forma del decantador laminar.

f , representa el número de veces que hay que achicar la superficie horizontal de un decantador convencional de flujo horizontal para que tenga la misma eficiencia que uno de placas paralelas.

Influencia de Longitud Equivalente o Relativa y el Angulo de Inclinación en la Eficiencia del Sedimentador.-

La máxima eficiencia teóricamente se consigue cuando V_{sc} es mínima, o sea cuando el mayor número de partículas tiene una V_s mayor a V_{sc} .

La dependencia de la relación $\frac{V_{sc}}{V_s}$ en función de L y θ , se expresa en la

ecuación :

$$\frac{V_{sc}}{V_s} = \frac{S_{critico}}{(\text{Sen } \theta + L \text{Cos } \theta)} \quad \dots\dots\dots (75a)$$

Para un valor de V_s fijo, y de θ , como se observa en el gráfico A-8, en el caso de dos tipos de decantadores de alta tasa, con ductos del tipo placas paralelas y ductos de sección circular, el valor de V_{sc} disminuye rápidamente con el aumento de L hasta cierto valor, a partir del cual la disminución es muy pequeña.

La influencia del ángulo de inclinación θ sobre la velocidad de sedimentación crítica, V_{sc} puede observarse al comparar el resultado al ángulo θ con el valor a $\theta = 0$.

Siendo S_c igual a 1, en el caso de placas paralelas :

$$\frac{V_{sc,\theta}}{V_{sc,0}} = \frac{L}{(\text{Sen } \theta + L \text{Cos } \theta)} \quad \dots\dots\dots (75b)$$

Manteniendo L y V_s fijos, el valor de $V_{sc,0}$ es constante y a medida que se aumenta θ según la Ec (75b), aumenta $V_{sc,\theta}$. Pese a lo cual, para facilitar el deslizamiento de los lodos depositados entre las placas del sedimentador el valor de θ no puede ser muy bajo. Se suele adoptar en el diseño θ en el rango de 50° a 60° .

Limitaciones de la Velocidad Media de Flujo, V_o :

La ecuación (68) nos muestra que cuanto mayor es V_o mayor debe ser V_s para que se tenga, siendo L y θ fijos, el mismo valor de S .

Por otro lado, la velocidad V_o debe ser tal que no produzca el acarreo de los flocs depositados. Es decir no supere la velocidad ascensional V_a , que causa el inicio del movimiento de las partículas depositadas, y está dada por,

$$V_o = \text{Cos } \theta \frac{8\beta}{f} g (\rho_s - 1) d \quad \dots\dots\dots (76)$$

Debido a la diversidad de la naturaleza, tamaño, y concentración de las partículas, y de las propiedades del agua, se recomienda de manera general para el diseño una velocidad V_o en el orden de 10 a 25 cm/min.

El Número de Reynolds (Re) :

Se recomienda (77) Re inferiores a 1000 y de preferencia menores a 500 en ductos o placas de los decantadores de alta tasa.

$$\text{Re} = \frac{\lambda_l \cdot \rho \cdot V_o}{\mu} \quad \dots\dots\dots (77)$$

ρ = densidad.

μ = viscosidad dinámica.

Donde, además,

$$\lambda_l \text{ , es la dimensión característica; } R_H \text{ , el radio hidráulico}$$

$$\lambda_l = 4R_H \quad \dots\dots\dots (78)$$

Para flujo entre placas paralelas de dimensiones finitas, separación m y longitud b , es decir sección rectangular, $R_H = \frac{m \cdot b}{2(m + b)}$ (79)

6.3. TEORIA DE DISEÑO DE FILTROS DE TASA DECLINANTE Y LAVADO MUTUO – RESUMEN

Recomendaciones de Diseño de Filtros Rápidos de Agua Decantada, con Medio Filtrante Unico de Arena, de Tasa Declinante y Lavado Mútuo:

Características del medio filtrante simple de arena.

| | |
|----------------------------------|----------------|
| Espesor | 0,6 – 0,8 m |
| Tamaño efectivo (TE) | 0,45 – 0,60 mm |
| Coefficiente de uniformidad (CU) | $\leq 1,5$ |
| Tamaño grano menor, mm | 0,42 |
| Tamaño grano mayor, mm | 1,41 |

| | |
|---|----------------|
| Velocidad ascendente de lavado con agua: | 0,7 a 1 m/ min |
| Porcentaje de expansión de arena durante el lavado: | 30 a 50% |

El Area superficial de cada filtro (A_f) es elegido de modo que al pasar la totalidad del caudal (Q) de diseño por el filtro durante su lavado, se tenga la velocidad de lavado (V_l) adecuada para dar el porcentaje de expansión adecuado del medio filtrante seleccionado.

$$A_f = \frac{Q}{V_l} \quad \dots\dots\dots (80)$$

El área total (A_r) se establece según la tasa de filtración seleccionada ($m^3/m^2 \cdot \text{día}$) y el caudal de filtración :

$$A_r = \frac{Q}{V_f \cdot (8640)} \quad \dots\dots\dots (81)$$

El número de filtros (N) de la bateria, se obtiene según el área total de filtros

$$\text{y el área de cada filtro, } N = \frac{A_r}{A_f} \quad \dots\dots\dots (82)$$

Altura de la canaleta de lavado:

$$h^{3/2} = \frac{q_{\text{CANALETA}}}{82,5w} \quad \dots\dots\dots (83)$$

donde q_{CANALETA} = caudal por canaleta, (m^3 / min)

h = altura útil de la canaleta , (m)

w = ancho interior de canaleta , (m).

Posición del vertedero general de salida:

El nivel de éste vertedero controla la hidráulica de retrolavado.

$H_{\text{VERTEDERO}}$ = ALTURA DEL VERTEDERO QUE CONTROLA LA
HIDRAULICA DE LAVADO.

$$H_{\text{VERTEDERO}} = H_{\text{CANALETA}} + \sum_i h_{f,i,\text{LAVADO}} \quad \dots\dots\dots (84)$$

donde,

H_{CANALETA} = Distancia desde el borde superior de canaleta al fondo de la caja del filtro.

$\sum_{i=1}^5 h_{f,i,\text{LAVADO}}$ = Sumatoria de todas las pérdidas de carga producidas durante el retrolavado.

$h_{f,1,\text{LAVADO}}$ = Pérdida de carga en el lecho filtrante (arena) durante el retrolavado.

$h_{f,2,\text{LAVADO}}$ = Pérdida de carga en los orificios de drenaje en retrolavado.

$h_{f,3,\text{LAVADO}}$ = Pérdida de carga en falso fondo durante retrolavado.

$h_{f,4,\text{LAVADO}}$ = Pérdida de carga en compuerta de salida durante retrolavado.

$h_{f,5,\text{LAVADO}}$ = Altura de agua de lavado sobre canaletas de recolección.

- Expansión del medio filtrante durante el lavado:

El cálculo de la velocidad mínima de fluidificación de partículas de tamaño uniforme se basa en el hecho de que la pérdida de carga en el lecho fijo es igual a la pérdida de carga constante en el lecho fluidificado incipiente.

La pérdida de carga durante el escurrimiento de agua através de un medio poroso fijo, para flujo con número de Reynolds dentro del rango de 1 y 2000, está dada por la ecuación de Ergun, siguiente:

$$\frac{h}{l} = 150 \frac{\mu}{\rho g} \frac{(1 - \varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \left(\frac{S_v}{6} \right)^2 V_a + 1,75 \frac{(1 - \varepsilon) S_v}{\varepsilon^3} \frac{V_a^2}{6 g} \quad \dots\dots\dots (85)$$

h = pérdida de carga en el lecho filtrante , (m)

l = espesor del lecho filtrante , (m)

μ = viscosidad dinámica del fluido , (N . s / m ²)

ε = porosidad = volúmen de vacíos/volúmen del lecho

S_v = superficie específica= área superficial del grano por unidad de volúmen de grano.

Ce = Coeficiente de esfericidad = Area superficial de una esfera de igual volúmen del grano y el área superficial del grano.

D_{eq} = diámetro equivalente del grano = $D_{min} \cdot D_{max}$, (m)

V_u = velocidad ascensional = Caudal / área del lecho , (m / s)

Durante la fluidización, la caída de presión (ΔP) es igual al peso fluctuante de los granos : $\Delta P = h \cdot \rho \cdot g = l \cdot (\rho_s - \rho) \cdot g \cdot (1 - \varepsilon)$ (86)

Donde, ΔP = caída de presión a través del lecho , (N / m²)

ρ_s = densidad del grano , (kg / m³)

De la ecuación (86) se tiene:

$h = \frac{(\rho_s - \rho)g(1 - \varepsilon)}{\rho \cdot g}$, igualando ésta con la Ecuación. de Ergun :

$$\frac{(\rho_s - \rho)g(1 - \varepsilon)}{\rho \cdot g} = 150 \frac{\mu}{\rho g} \frac{(1 - \varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \left(\frac{S_v}{6} \right)^2 V_{mf} + 1,75 \frac{(1 - \varepsilon)}{\varepsilon^3} \frac{S_v}{6} \frac{V_{mf}^2}{g}$$

..... (87)

Donde V_{mf} = Velocidad mínima de fluidificación.

Cuando se tienen valores de velocidad ascensional por encima de V_{mf} todas las partículas están en estado fluidificado. Cuando se tienen valores por debajo de V_{mf} todas las partículas están en estado fijo.

Considerando, el valor de $S_v = \frac{6}{D_{eq} \cdot Ce}$ para granos irregulares, y

dividiendo la ecuación (87) entre $\frac{D_{eq}^3 \rho^2 g}{\mu^2}$, se tendrá:

$$(\rho_s - \rho) \rho \cdot g \cdot (1 - \varepsilon) \left(\frac{D_{eq}^3}{\mu^2} \right) = 150 \frac{(1 - \varepsilon)^2}{\varepsilon^3 \cdot Ce^2} \left(\frac{D_{eq} \cdot \rho}{\mu} \right) V_{mf} + 1,75 \frac{(1 - \varepsilon)}{\varepsilon^3 \cdot Ce} \left(\frac{D_{eq}^2}{\mu^2} \rho^2 \right) V_{mf}^2$$

..... (88)

$$(1-\varepsilon).Ga = 150 \frac{(1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^3.Ce^2} Re + 1,75 \frac{(1-\varepsilon)}{\varepsilon^3.Ce} Re^2 \quad \dots\dots\dots (89)$$

Donde, $Re = \frac{V_{mf}.D_{eq}.\rho}{\mu}$ = Número de Reynolds a la velocidad mínima

de fluidificación.

$$Ga = \frac{D_{eq}^3 \rho (\rho_s - \rho) g}{\mu^2} = \text{Número de Galileo} \quad \dots\dots\dots (90)$$

Se han elaborado las curvas de porosidad, que relacionan el Re con el Ga , para diferentes valores del Coeficiente de Esfericidad, Ce y porosidad, ε_e , del medio filtrante expandido.

Fijándose el valor de la velocidad ascensional de lavado entre 0,7 m/min y 1,0 m/min para filtros de flujo descendente, se calculan Re_i y Ga_i , para cada capa filtrante- i , con su respectivo diámetro equivalente, a la velocidad ascensional elegida.

De la curva granulométrica respectiva se deduce el porcentaje en peso, x_i , de cada sub-cap-a- i entre dos tamaños consecutivos de la serie granulométrica.

De las curvas de porosidad, para determinado Ce , con Re_i y Ga_i , se establece la porosidad de lecho expandido $\varepsilon_{e,i}$, de cada subcapa. Una vez determinados todos los valores de $\varepsilon_{e,i}$, la porosidad de todo el lecho expandido, ε_e , puede ser calculado por,

$$1 - \varepsilon_e = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{1 - \varepsilon_{e,i}}} \quad \dots\dots\dots (91)$$

La expansión del medio filtrante:

$$\text{expansion} = \frac{\varepsilon_e - \varepsilon_0}{1 - \varepsilon_e} = \frac{L_e - L}{L} \quad \dots\dots\dots (92)$$

L_e = Longitud del lecho filtrante expandido.

L = Longitud del lecho filtrante no expandido.

- Pérdida de Carga en el lecho filtrante expandido durante el Lavado:

La pérdida de carga en el medio filtrante expandido $h_{f,1}$, será

$$\Delta P_e = h_{f,1} \cdot \rho \cdot g = L_e \cdot (\rho_s - \rho) \cdot g \cdot (1 - \varepsilon_e) \quad \dots\dots\dots (93)$$

La pérdida de carga en el medio filtrante no expandido, $h_{f,o}$, será

$$\Delta P_o = h_{f,o} \cdot \rho \cdot g = L \cdot (\rho_s - \rho) \cdot g \cdot (1 - \varepsilon_o) \quad \dots\dots\dots (94)$$

- Pérdida de carga en los orificios de drenaje (en viguetas prefabricadas) durante el lavado:

$$h_{f,2,LAVADO} = \frac{q_{o,LAV}^2}{2C_d^2 A_o^2 g} \quad \dots\dots\dots (95)$$

$q_{o,LAV}$ = Caudal por cada orificio (m³/s) durante el lavado.

C_d = Coeficiente de descarga (0,6-0,65)

A_o = Area de cada orificio (m²).

- Pérdida de carga en falso fondo.

Se trata de un la pérdida de carga en un canal

$$h_{f,3,LAVADO} = K \frac{V_{FFL}^2}{2g} \quad \dots\dots\dots (96)$$

K = Coeficiente pérdida de carga = 1

V_{FFL} = Velocidad en falso fondo (m/s) durante el lavado.

- Pérdida de carga en compuerta de salida durante retrolavado.

$$h_{f,4,LAVADO} = K \frac{V_{COMPUERTA}^2}{2g} \quad \dots\dots\dots (97)$$

K = Coeficiente pérdida de carga = 1

$V_{COMPUERTA}$ = Velocidad en compuerta de salida del agua de lavado

- Altura de agua sobre canaletas de recolección del agua de lavado, $h_{f,5,LAVADO}$

$$h_{f,5,LAVADO} = \left(\frac{Q}{1,84(N_{CANALETAS})L_{CANALETA}} \right)^{2/3} \quad \dots\dots\dots (98)$$

$N_{CANALETAS}$ = Número de canaletas

$L_{CANALETAS}$ = Longitud de una canaleta.

- **Carga hidráulica del sistema:** Para definir ésta altura es necesario un cálculo cuidadoso de las pérdidas de carga en el filtro durante operación.. Si ésta altura es insuficiente se obtendrán carreras de filtración muy cortas, y si es excesiva se producirán velocidades muy altas en el filtro recién lavado.

Carga Hidráulica del Sistema= $H_T + H_V +$ Pérdidas de carga por retención de impurezas.

$$H_T = \sum_{i=1}^6 H_{f,i} \quad \dots\dots\dots (99)$$

H_T = Pérdidas de carga sin retención de impurezas.

H_V = Altura del Vertedero de control de la hidráulica de lavado.

La Carga Hidráulica del Sistema se fija en la instalación colocando un aliviadero en el canal de entrada a la batería o bien se hace coincidir la carga hidráulica requerida con la altura total de la caja de filtro.

Pérdidas de Carga sin retención de impurezas, H_T :

- La pérdida de carga en el lecho filtrante limpio ($H_{f,1}$) al inicio del proceso de filtración, puede determinarse através de la fórmula propuesta por Fair-Hatch:

$$H_{f,1} = (L) \frac{150\nu (1 - \varepsilon_n)^2}{g \varepsilon_n^3} \frac{V_f}{Ce^2} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i}{D_i^2} \right) \quad \dots\dots\dots (100)$$

Donde:

$H_{f,1}$ = pérdida de carga en lecho de arena limpio durante filtración, (m)

L = espesor del medio filtrante, (m)

ν = viscosidad cinemática, (m² / s)

ε_n = porosidad media del medio filtrante

V_f = velocidad de filtración (o velocidad de aproximación), (m/s)

Ce = coeficiente de esfericidad

x_i = fracción en peso del material filtrante retenido entre dos

mallas consecutivas de la serie granulométrica.

De_i = diámetro equivalente entre dos mallas consecutivas j y k , (m).

- Pérdida de carga en los orificios de drenaje durante la filtración ($H_{f,2}$).

$$H_{f,2} = \frac{q_o^2}{2C_d^2 A_o^2 g} \quad (101)$$

q_o = Caudal por cada orificio (m³/s), durante filtración

C_d = Coeficiente de descarga (0,6-0,65)

A_o = Area de cada orificio (m²).

- Pérdida de carga en falso fondo durante filtración ($H_{f,3}$)

$$H_{f,3} = K \frac{V_{FF}^2}{2g} \quad \dots\dots\dots (102)$$

K = Coeficiente pérdida de carga = 1

V_{FF} = Velocidad en falso fondo durante filtración, (m/s)

- Pérdida de carga en compuerta de entrada durante filtración ($H_{f,4}$)

$$H_{f,4} = K \frac{V_c^2}{2g} \quad \dots\dots\dots (103)$$

K = Coeficiente pérdida de carga = 1

V_c = Velocidad en compuerta de entrada del agua durante filtrac., (m/s).

- Pérdida de carga en compuerta de salida durante filtración ($H_{f,5}$)

$$H_{f,5} = K \frac{V_{cs}^2}{2g} \quad \dots\dots\dots (104)$$

K = Coeficiente pérdida de carga = 1

V_{cs} = Velocidad en compuerta de salida del agua filtrada, (m/s).

- Altura del agua sobre el vertedero de salida ($H_{f,6}$)

$$(H_{f,6}) = \left(\frac{A_f V_f}{1,84 \cdot L_{VERT}} \right)^{2,3} \quad (105)$$

A_f = área del medio filtrante

V_f = Velocidad de filtración (velocidad de aproximación), m/s.

- **Pérdidas de Carga por Retención de Impurezas:**

En la figura 6.3.2. se muestra la pérdida de carga (1) en el medio filtrante (arena) limpio, así como la pérdida de carga (2) en: la capa soporte, en el sistema de drenaje (viguetas /falso fondo), altura de agua sobre el vertedero de salida.

En el Cuadro 6.3.1 se contempla la pérdida de carga en el filtro1 (F1) por retención de impurezas correspondiente a cada etapa, considerando que los filtros operan en una sucesión de etapas, de acuerdo a la fig.6.3.1.

La pérdida de carga por retención de impurezas depende de la tasa de filtración. Cada vez que entra a trabajar un filtro recién lavado diferente a F1, disminuye la tasa de filtración para F1.

CUADRO 6.3.1. Pérdida de carga para el filtro-1 por retención de impurezas durante una carrera de filtración.

| Tiempo | Nivel | Tasa de Filtración | Descripción | Pérdida de Carga por Retención de Impurezas en F1 |
|---------|-------|--------------------|---|---|
| t_0 | N1 | $V_{F,max}$ | Inicio | 0 |
| t_1 | N2 | $V_{F,max}$ | Antes del lavado de F6 | h_0 |
| t_1^* | N1 | V_{Fa} | Después que F6 limpio entra en operación | h_a |
| t_2 | N2 | V_{Fa} | Antes del lavado de F5 | $h_a + h_0$ |
| t_2^* | N1 | V_{Fb} | Después que F5 limpio entra en operación | h_b |
| t_3 | N2 | V_{Fb} | Antes del lavado de F4 | $h_b + h_0$ |
| t_3^* | N1 | V_{Fc} | Después que F4 limpio entra en operación | h_c |
| t_4 | N2 | V_{Fc} | Antes del lavado de F3 | $h_c + h_0$ |
| t_4^* | N1 | V_{Fd} | Después que F3 limpio entra en operación | h_d |
| t_5 | N2 | V_{Fd} | Antes del lavado de F2 | $h_d + h_0$ |
| t_5^* | N1 | $V_{F min}$ | Después que F2 limpio entra en operación | $h_{máx}$ |
| t_6 | N2 | $V_{F min}$ | Antes del lavado de F1 (fin de carrera de filtración de F1) | $h_{máx} + h_0$ |

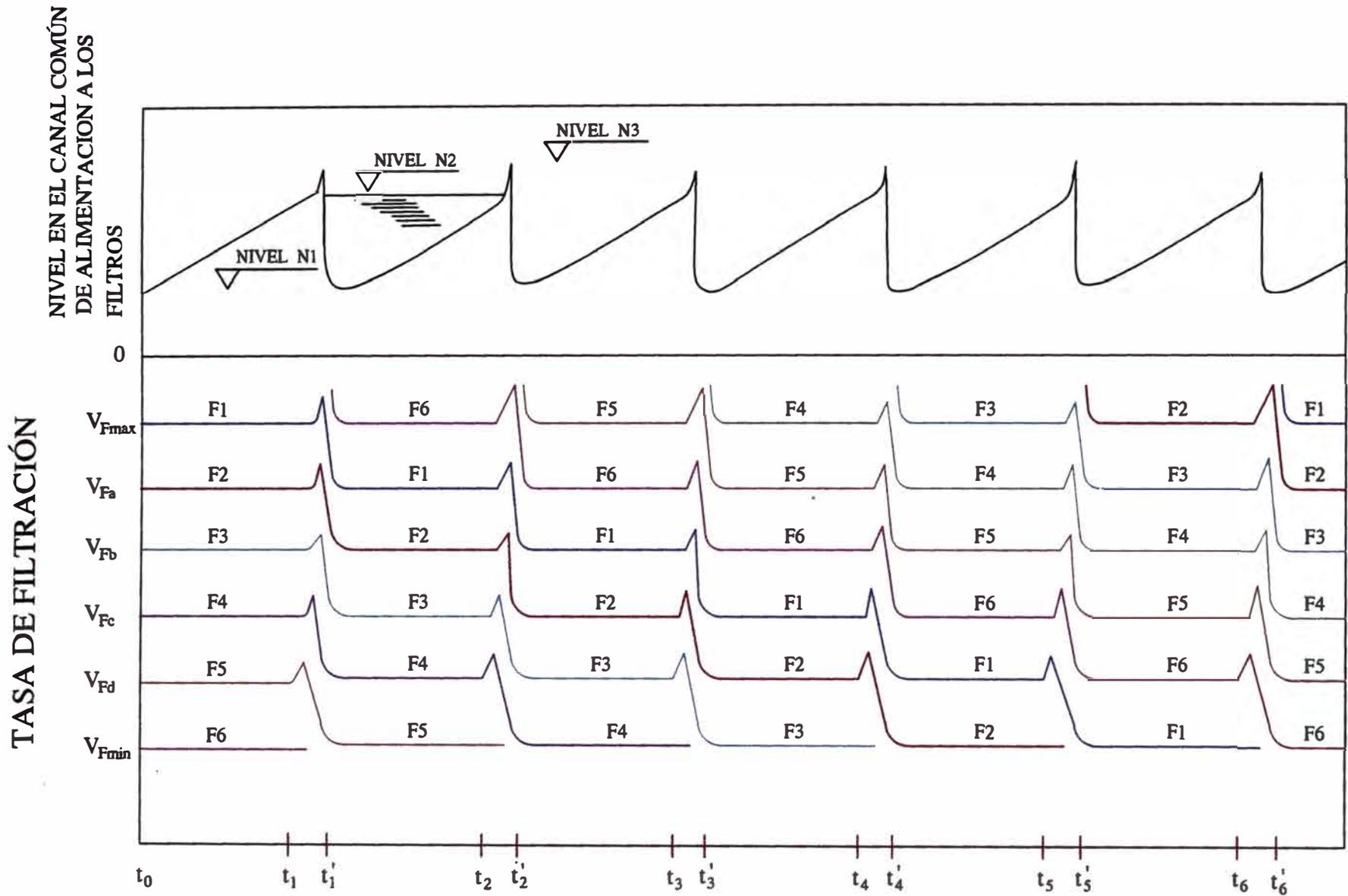


FIGURA 6.3.1. CONFIGURACIÓN DE UN SISTEMA CON TASA DECLINANTE

Donde: $h_0 = N2 - N1$

Antes e inmediatamente después del lavado de un filtro diferente a F1, éste mantiene el valor de su resistividad (retención de impurezas), pero la pérdida de carga correspondiente varía porque varía la tasa de filtración.

Cuadro 6.3.2. Coeficientes de Resistividad debido a Retención de Impurezas

| Nivel | Filtro | Tasa de Filtración | Pérdida de Carga por Retención de Impurezas | Coefficiente de Resistividad debido a Retención de Impurezas |
|--|--------|--------------------|---|--|
| N1 (Inicio) | F1 | $V_{F,max}$ | 0 | 0 |
| | F2 | V_{Fa} | h_a | k_o |
| | F3 | V_{Fb} | h_b | k_a |
| | F4 | V_{Fc} | hc | k_b |
| | F5 | V_{Fd} | h_d | k_c |
| | F6 | $V_{F min}$ | $h_{máx}$ | k_d |
| N2 (Antes del Lavado de F6) | F1 | $V_{F,max}$ | h_0 | k_o |
| | F2 | V_{Fa} | $h_a + h_0$ | k_a |
| | F3 | V_{Fb} | $h_b + h_0$ | k_b |
| | F4 | V_{Fc} | $h_c + h_0$ | k_c |
| | F5 | V_{Fd} | $h_d + h_0$ | k_d |
| | F6 | $V_{F min}$ | $h_{máx} + h_0$ | $k_{máx}$ |
| N1 (Después que F6 limpio entra en operación) | F6 | $V_{F,max}$ | 0 | 0 |
| | F1 | V_{Fa} | h_a | k_o |
| | F2 | V_{Fb} | h_b | k_a |
| | F3 | V_{Fc} | hc | k_b |
| | F4 | V_{Fd} | h_d | k_c |
| | F5 | $V_{F min}$ | $h_{máx}$ | k_d |

CUADRO 6.3.2. (Continuación).

| Nivel | Filtro | Tasa de Filtración | Pérdida de Carga por Retención de Impurezas | Coefficiente de Resistividad debido a Retención de Impurezas |
|---|--------|--------------------|---|--|
| <i>N2</i> (Antes del lavado de F5) | F6 | $V_{F,max}$ | h_0 | k_o |
| | F1 | V_{Fa} | $h_a + h_0$ | k_a |
| | F2 | V_{Fb} | $h_b + h_0$ | k_b |
| | F3 | V_{Fc} | $h_c + h_0$ | k_c |
| | F4 | V_{Fd} | $h_d + h_0$ | k_d |
| | F5 | $V_{F \min}$ | $h_{máx} + h_0$ | $k_{máx}$ |
| <i>N1</i> (Después que F5 limpio entra en operación) | F5 | $V_{F,max}$ | 0 | 0 |
| | F6 | V_{Fa} | h_a | k_o |
| | F1 | V_{Fb} | h_b | k_a |
| | F2 | V_{Fc} | h_c | k_b |
| | F3 | V_{Fd} | h_d | k_c |
| | F4 | $V_{F \min}$ | $h_{máx}$ | k_d |

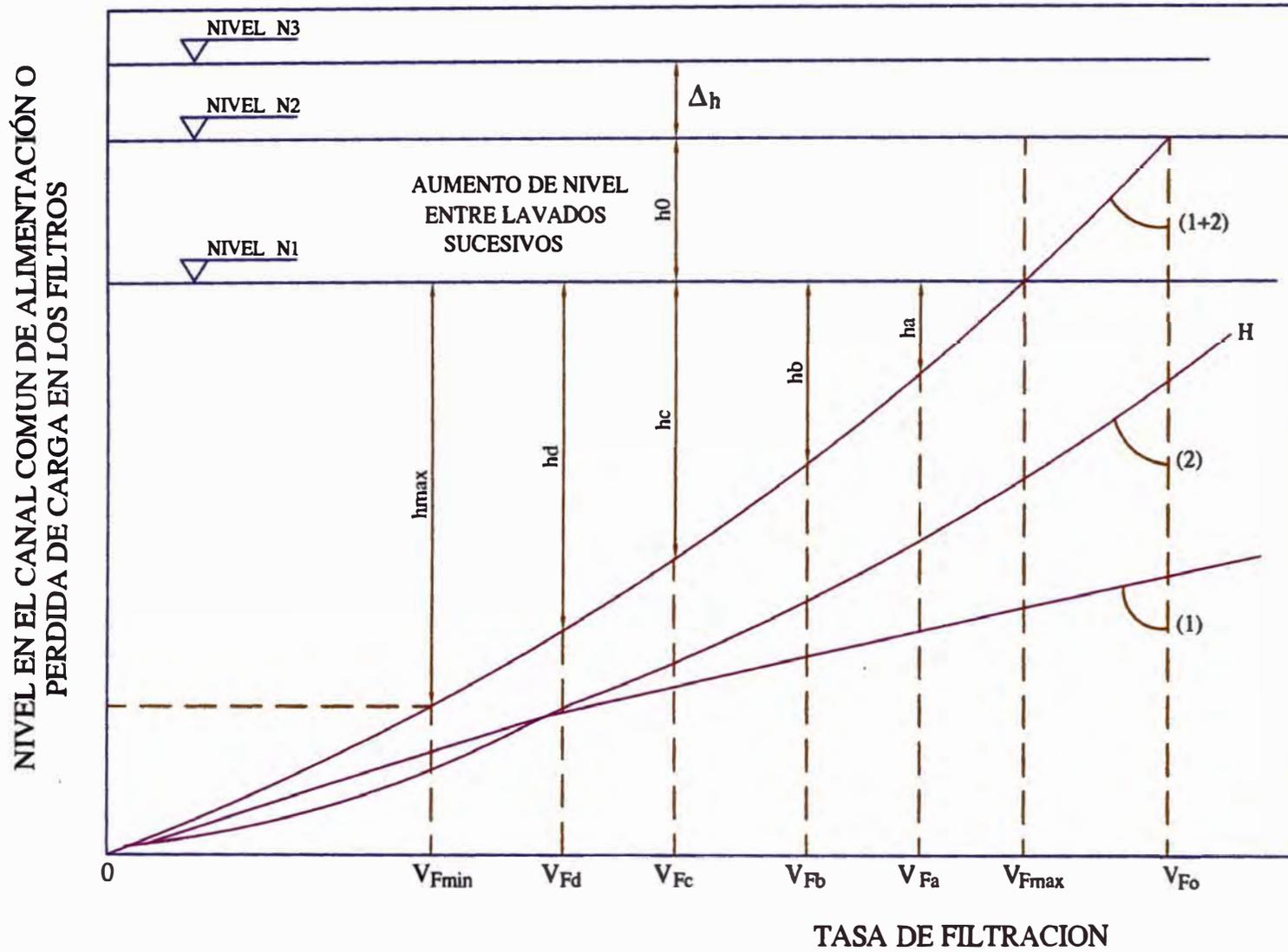


FIGURA 6.3.2. VARIACION DE NIVEL EN EL CANAL DE ALIMENTACIÓN O PÉRDIDA DE CARGA EN LOS FILTROS DE TASA DECLINANTE

Considerando que el escurrimiento en el medio filtrante es laminar, Di Bernardo (Ref.2) plantea las sgts. ecuaciones para las pérdidas de carga por retención de impurezas, durante la carrera de filtración de un filtro de tasa declinante y lavado mútuo.

CUADRO 6.3.3. Pérdidas de carga por retención de impurezas, durante la carrera de filtración de un determinado filtro.

| Tiempo | Nivel | Pérdidas de carga por retención de impurezas en función de la tasa de filtración | |
|---------|------------|--|----------|
| t_0 | Bajo N1 | 0 | |
| t_1 | Alto N2 | $h_0 = k_0 \cdot V_{F,max}$ | Ec (106) |
| t_1^* | N1 | $h_a = k_0 \cdot V_{Fa}$ | Ec (107) |
| t_2 | N2 | $h_a + h_0 = k_a \cdot V_{Fa}$ | Ec (108) |
| t_2^* | N1 | $h_b = k_a \cdot V_{Fb}$ | Ec (109) |
| t_3 | N2 | $h_b + h_0 = k_b \cdot V_{Fb}$ | Ec (110) |
| t_3^* | N1 | $h_c = k_b \cdot V_{Fc}$ | Ec (111) |
| t_4 | N2 | $h_c + h_0 = k_c \cdot V_{Fc}$ | Ec (112) |
| t_4^* | N1 | $h_d = k_c \cdot V_{Fd}$ | Ec (113) |
| t_5 | N2 | $h_d + h_0 = k_d \cdot V_{Fd}$ | Ec (114) |
| t_5^* | N1 | $h_{máx} = k_d \cdot V_{F \min}$ | Ec (115) |
| t_6 | N2 | $h_{máx} + h_0 = k_{máx} \cdot V_{F \min}$ | Ec (116) |

$$\text{Carga Hidráulica Disponible} = H_T + H_V + H_{\text{IMPUREZAS}}$$

H_V = Altura del vertedero de control de la hidráulica de lavado.

H_T = Pérdidas de carga en medio filtrante sin retención de impurezas +
Pérdida de carga en sistema salida, drenaje, compuertas.

$H_{\text{IMPUREZAS}}$ = Pérdidas de carga por retención de impurezas.

$$\text{Total Pérdidas de Carga} = H_T + H_{\text{IMPUREZAS}}$$

H_V es constante, H_T y $H_{\text{IMPUREZAS}}$ varían durante una corrida de filtración

i) Se asume el valor de $V_{F,\text{max}}$, y se calcula $H_{T,\text{max}}$ de la ecuación (99).

El $V_{F,\text{max}}$ asumido debe ser lógicamente menor que la Tasa de Lavado (V_{F0}).

ii) Se asume la diferencia de niveles $N1$ y $N2$, es decir h_0 .

$$\text{Total Pérdidas de Carga} = H_{T,\text{max}} + h_0 \quad \dots\dots\dots(117)$$

iii) Con la tasa de filtración máxima $V_{F,\text{max}}$ y h_0 , según la Ec (106) se calcula k_0 .

iv) De la ecuación (99) a la tasa filtración V_{Fa} :

$H_{T,VFa}$ = Pérdida de carga sin retención de impurezas cuando la tasa de filtración es V_{Fa} .

$$\text{Total Pérdidas de Carga} = H_{T,\text{max}} + h_0 = H_{T,VFa} + h_a \quad \dots\dots\dots (118)$$

v) Empleando la Ec (107):

$$H_{T,\text{max}} + h_0 = H_{T,VFa} + k_0 \cdot V_{Fa} \quad \dots\dots\dots(119)$$

la expresión de la derecha está explícita en función de V_{Fa} . De tanteos en la ecuación anterior se calcula V_{Fa} .

vi) De la Ec (107) se calcula la pérdida de carga h_a .

vii) De la Ec (108) se calcula k_a .

viii) Se continúa así sucesivamente hasta que todas tasas de filtración sean conocidas.

Si la suma de las seis tasas estimadas durante una corrida de filtración:

$$V_{F_{\max}} + V_{Fa} + V_{Fb} + V_{Fc} + V_{Fd} + V_{F_{\min}} = 6 V_{F_{\text{medio}}} \quad \dots(120)$$

el problema está resuelto.

Los valores asumidos de $V_{F_{\max}}$ y h_0 son correctos,

$$H_T + H_{\text{IMPUREZ}} = H_{T,\max} + h_0 \quad \dots(121)$$

$$\text{ix) } H_T + H_{\text{IMPUREZAS}} + H_V = H_{T,\max} + h_0 + H_V \quad \dots(122)$$

Calculamos entonces, la carga hidráulica disponible en metros:

$$\text{CARGA HIDRÁULICA DISPONIBLE} = H_{T,\max} + h_0 + H_V$$

7. EVALUACION DE LAS OPERACIONES DE LA PLANTA.

Los datos para la evaluación se recopilaron en Marzo de 1999 conformando el grupo de estudiantes de PostGrado de FIA-UNI, bajo la dirección de los Ingenieros Lidia Cánepa y Víctor Maldonado Y. Como referencia se dan además datos de un estudio de campo posterior (Taller 2001-CEPIS), y data histórica de EMAPA CAÑETE (Enero –Abril 2002).

7.1. EVALUACION DE MEZCLA RAPIDA Y COAGULACION.

Calidad del Agua: La calidad del agua cruda reportada en los estudios de 1999 y 2001 de la referencia, es la siguiente:

| | |
|-------------------|------------------|
| Turbiedad | 2 – 1500 NTU |
| pH | 7,5 – 8,5 |
| Alcalinidad total | 96 – 112 mgr/ lt |

Desde el año 2002 por variaciones del ciclo hidrológico la turbiedad promedio del agua cruda ha disminuído con relación a años anteriores

Ver en anexo(Cuadro A-8) data histórica de agua cruda (Enero-Abril 2002).

Coagulante empleado en la Planta: Actualmente se adquiere como coagulante sulfato de aluminio en la forma comercializada en solución acuosa al 8% en peso. Diluyéndose a la concentración de 2,5 % en peso.

Concentración Óptima del Coagulante: La dosis óptima de Sulfato de aluminio encontrada en la Prueba de Jarras (29/03/99), con Turbiedad inicial de 428 NTU fué del 1% (en peso sulfato de aluminio).

Dosis Óptima del Coagulante: Con el estudio de laboratorio en la Prueba de Jarras se determinó que para una turbiedad inicial de 428 NTU la dosis óptima del coagulante es 35 mg/lt. , y que para una turbiedad inicial de 331 NTU la dosis óptima es 18 mg/lt. Ver Gráfico 7.11.

Desde el año 2002 las dosis optimas según referencia de EMAPA CAÑETE han variado con respecto a año anteriores, a valores menores.

pH Óptimo: Como se observa en el gráfico 7.12, la tendencia es que para el agua ligeramente alcalina, no afecta mayormente la remoción de turbiedad el valor del pH. Sin embargo el pH óptimo está alrededor de 7,5 a 8.

El pH del Agua Cruda está normalmente entre 7,5 a 8,5, por eso es aceptable y no requiere modificación por ningún agente neutralizante.

GRAFICO 7.1.1.

DOSIS OPTIMA DE COAGULANTE 29 /03/99

Conc.Sulfato de Aluminio 1%w/w

$G_{TLOCULACION}=40 s^{-1}$

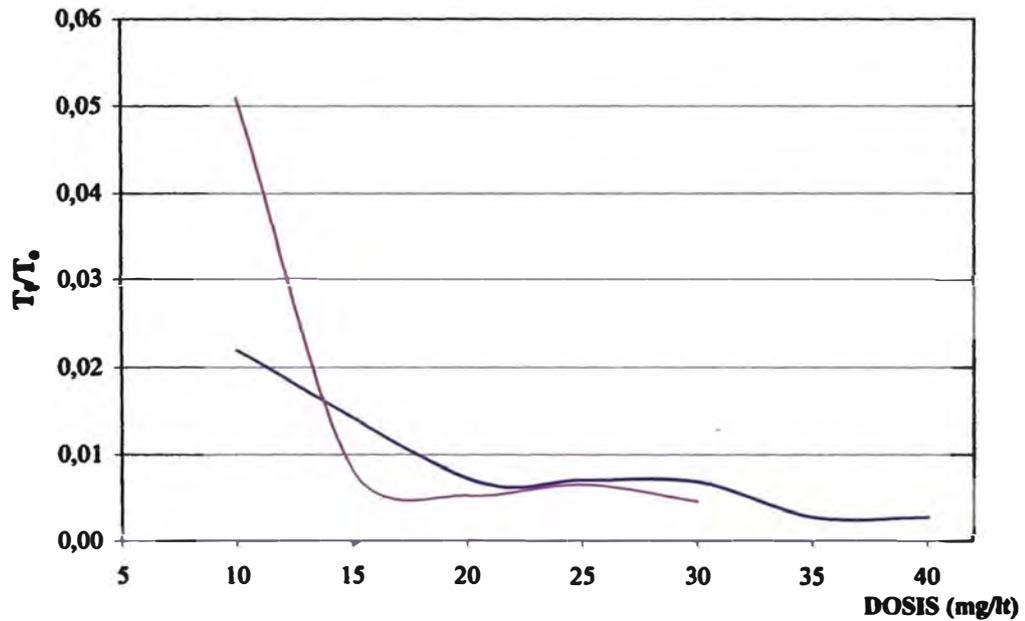


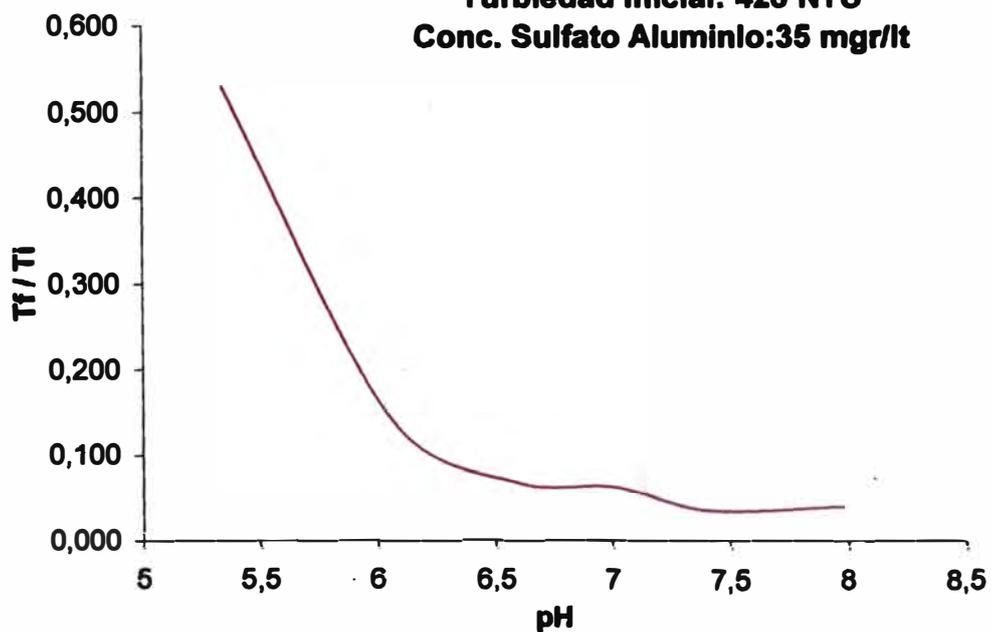
GRAFICO 7.1.2.

pH OPTIMO

Prueba de Jarras (29/03/1999)

Turbiedad Inicial: 428 NTU

Conc. Sulfato Aluminio:35 mgr/lit



Sistema de Dosificación de Coagulante:

Existe un problema serio en el régimen de dosificación. En el Dosificador de Orificio de Carga Constante, el sistema que regula la abertura del orificio de salida se encuentra desarmado. De tal manera que la dosis de coagulante no puede ser regulada (Ver en anexo: FOTO1A).

Para una dosis de 35 mg/l, una concentración al 1% de sulfato de aluminio en peso, y un caudal de 35 lt/seg se requiere un caudal de solución de coagulante de 441 lt/hora.

Los operarios cierran algunos de los agujeros del tubo difusor (que se encuentra sobre el mezclador rápido hidráulico) para la distribución de la solución del coagulante al agua cruda, según como el agua viene más o menos turbia (ver anexo: FOTO 2A).

Sistema de Mezcla Rápida:

Las condiciones hidráulicas que presenta el sistema de rampa, no son adecuadas para la formación del resalto ni para la determinación del caudal por medición de la cresta. La rampa ha sido construída sobre una grada o escalón largo.

Aguas arriba de la rampa no se tiene una zona de quietud, se forma una turbulencia. Esta se genera debido al ingreso del agua en un tubo inferior a ras del fondo del canal de mezcla rápida, y al cambio del fondo del canal en una grada a 1,65 m. antes de la rampa

No se forma un resalto adecuado, el tirante es muy alto. En éstas condiciones, la solución de coagulante, distribuída através de los agujeros de un tubo difusor que cruza transversalmente sobre el canal no se mezcla adecuadamente con el agua que ingresa a planta. El gradiente de velocidad aguas arriba en el canal es mayor que en el punto de dosificación de coagulante (ver anexo: FOTO 2A).

RECOMENDACIONES DE EVALUACION DE MEZCLA RAPIDA Y COAGULACION:

- Aplicar el ensayo de prueba de jarras en el laboratorio de la Planta durante todo el año, durante un ciclo hidrológico, a fin de sistematizar la selección de dosis óptima de coagulante versus turbiedad. Las características del ciclo hidrológico han cambiado significativamente desde hace unos dos años, reduciéndose la turbiedad con relación a años anteriores.
- Reparación o cambio del Dosificador de Orificio de Carga Constante y posterior calibración de la abertura de orificio según la dosis óptima de coagulante seleccionada. El dosificador debe cubrir el rango entre 0 y 1000 lt/ hora.
- Emplear la concentración óptima de 1 mgr/litro de sulfato de aluminio y el pH del agua cruda no requiere modificación.
- Rediseño y modificación de la rampa.

7.2.EVALUACION DEL FLOCULADOR.

Floculadores Hidráulicos de Flujo Horizontal:

| | |
|----------------------------------|---------|
| Caudal de Diseño de Floculadores | 30 lt/s |
| Número de Floculadores | 03 |

| | | | |
|--------------------------|-------|-------|------|
| Ancho del Tramo, m. | 1 | 2 | 3 |
| Longitud del Tramo, m. | 2,48 | 2,98 | 2,96 |
| Número de Canales, m. | | 18 | 13 |
| Ancho de Canal, m. | | 0,161 | 0,23 |
| Espesor de Pantallas, m. | 0,006 | | |

Procedimientos para la Caracterización Hidráulica y Estudio de Dispersión

El trazador utilizado en éste estudio fue una solución de cloruro de sodio comercial.

Para obtener la Curva de Calibración, concentración (mgr/lt), versus conductividad (microsiemens/cm, $\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$), se utilizaron diversas concentraciones de NaCl comercial disueltas en agua, haciendo la lectura en el conductivímetro.

El conductivímetro se estandarizó con solución patrón de KCl, de $1408 \mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$.

Tabla de Calibración

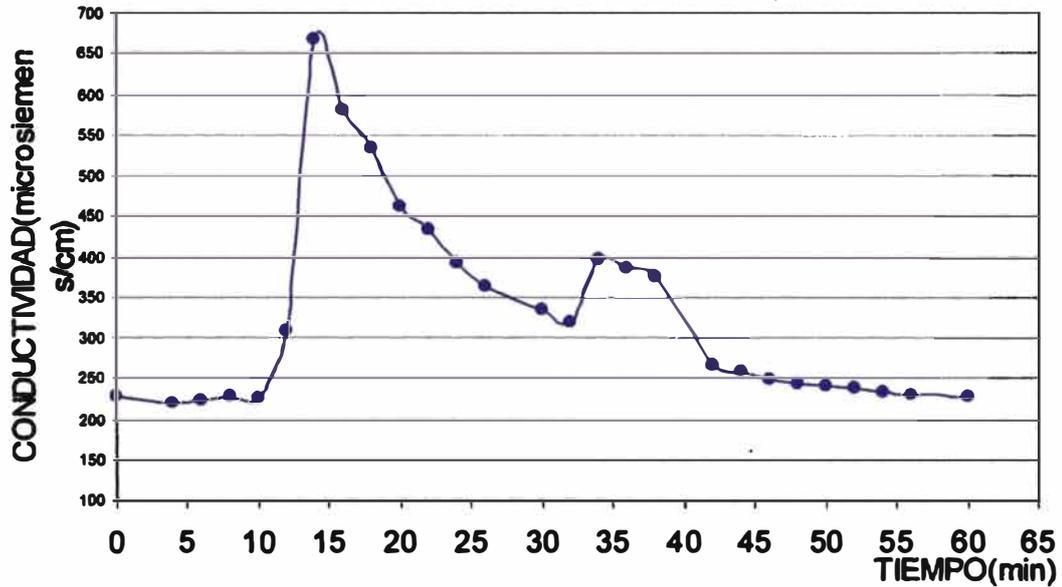
| Concentración (mgr/lt) | Conductividad (microsiemens/cm) |
|------------------------|---------------------------------|
| 750 | 1490 |
| 600 | 1223 |
| 500 | 1037 |
| 400 | 810 |
| 300 | 673 |
| 200 | 483 |
| 100 | 325 |
| 50 | 225 |

Inyección del Trazador y Colecta de Muestras:

El trazador cuando es inyectado participa del flujo dentro de la Unidad, siendo arrastrado hacia la salida. Después de la inyección se inician la colectas de muestras en vasos, que prosigue a intervalos de 2 minutos, hasta que el trazador abandona completamente el sistema.

GRAFICO 7.2.1.

ESTUDIO CON TRAZADORES
FLOCULADOR-CURVA DE DISTRIBUCION(30/03/99)



De la curva de distribución del trazador:

$t_p = 14$ min (tiempo modal correspondiente a la máx. concentrac.en salida)

$t_i = 11$ min. (correspondiente a la aparición del trazador en el efluente)

$t_f = 60$ min (correspond. al paso de la cantidad total del trazador aplicado).

CUADRO 7.2.1. FLOCULADOR-PTA 2-PRUEBA DE TRAZADORES
DATOS PARA CALCULO DE DISPERSION

| Nº | Tiempo t_i (min) | Conductividad C_i , ($\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$) | $C_i - C_o$ | $t_i \cdot (C_i - C_o)$ | $t_i^2 \cdot (C_i - C_o)$ |
|----|-----------------------|---|-------------|-------------------------|---------------------------|
| 1 | 0 | 217 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 4 | 220 | 3 | 12 | 48 |
| 3 | 6 | 222 | 5 | 30 | 180 |
| 4 | 8 | 226 | 9 | 72 | 576 |
| 6 | 10 | 225 | 8 | 80 | 800 |
| 7 | 12 | 308 | 91 | 1092 | 13104 |
| 8 | 14 | 667 | 450 | 6300 | 88200 |
| 9 | 16 | 581 | 364 | 5824 | 93184 |
| 10 | 18 | 534 | 317 | 5706 | 102708 |
| 11 | 20 | 460 | 243 | 4860 | 97200 |
| 12 | 22 | 432 | 215 | 4730 | 104060 |
| 13 | 24 | 391 | 174 | 4176 | 100224 |
| 14 | 26 | 363 | 146 | 3796 | 98696 |
| 15 | 30 | 335 | 118 | 3540 | 106200 |
| 16 | 32 | 317 | 100 | 3200 | 102400 |
| 17 | 34 | 396 | 179 | 6086 | 206924 |
| 18 | 36 | 386 | 169 | 6084 | 219024 |
| 19 | 38 | 376 | 159 | 6042 | 229596 |
| 20 | 42 | 265 | 48 | 2016 | 84672 |
| 21 | 44 | 259 | 42 | 1848 | 81312 |
| 22 | 46 | 249 | 32 | 1472 | 67712 |
| 23 | 48 | 244 | 27 | 1296 | 62208 |
| 24 | 50 | 239 | 22 | 1100 | 55000 |
| 25 | 52 | 237 | 20 | 1040 | 54080 |
| 26 | 54 | 233 | 16 | 864 | 46656 |
| 27 | 56 | 230 | 13 | 728 | 40768 |
| 28 | 60 | 227 | 10 | 600 | 36000 |

$$\Sigma t_i = 802$$

$$\Sigma C_i = 8839$$

$$\Sigma(C_i - C_o) = 2980$$

$$\Sigma t_i \cdot (C_i - C_o) = 72594$$

$$\Sigma t_i^2 \cdot (C_i - C_o) = 2091532$$

Período de Retención Promedio= $t = 24,36\text{min}$

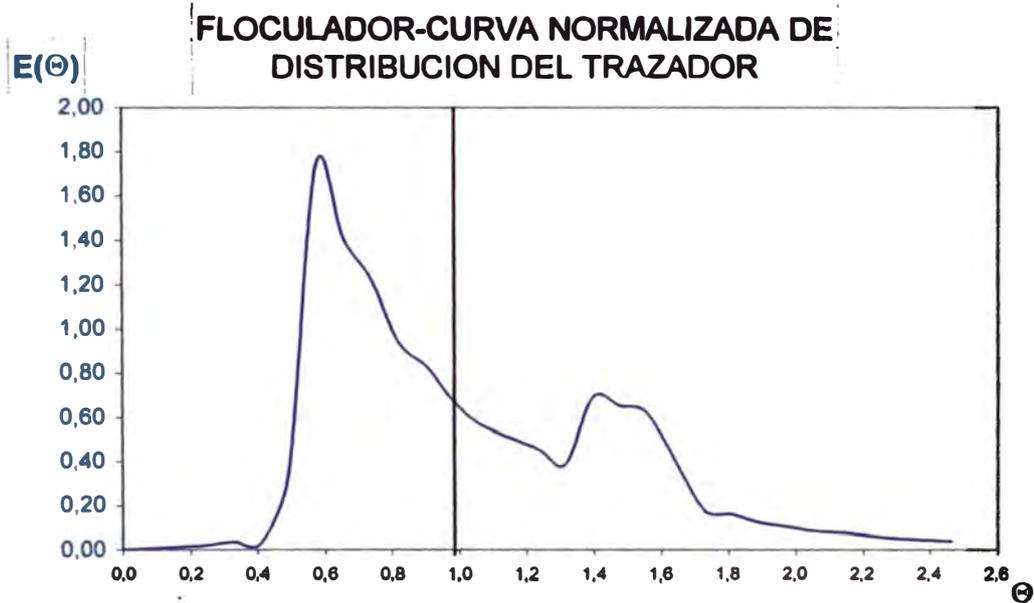
Varianza = $\sigma^2 = 108,43$

Varianza Adimensional = $\sigma_{\theta}^2 = 0,183$

$$\sigma_{\theta}^2 = \frac{\sigma^2}{t} = 2\left(\frac{D}{uL}\right) + 8\left(\frac{D}{uL}\right)^2$$

$$\frac{D}{uL} = 0,0712$$

GRAFICO 7.2.2. DISTRIBUCIÓN DE TIEMPOS DE RESIDENCIA EN FORMA NORMALIZADA:



Donde:

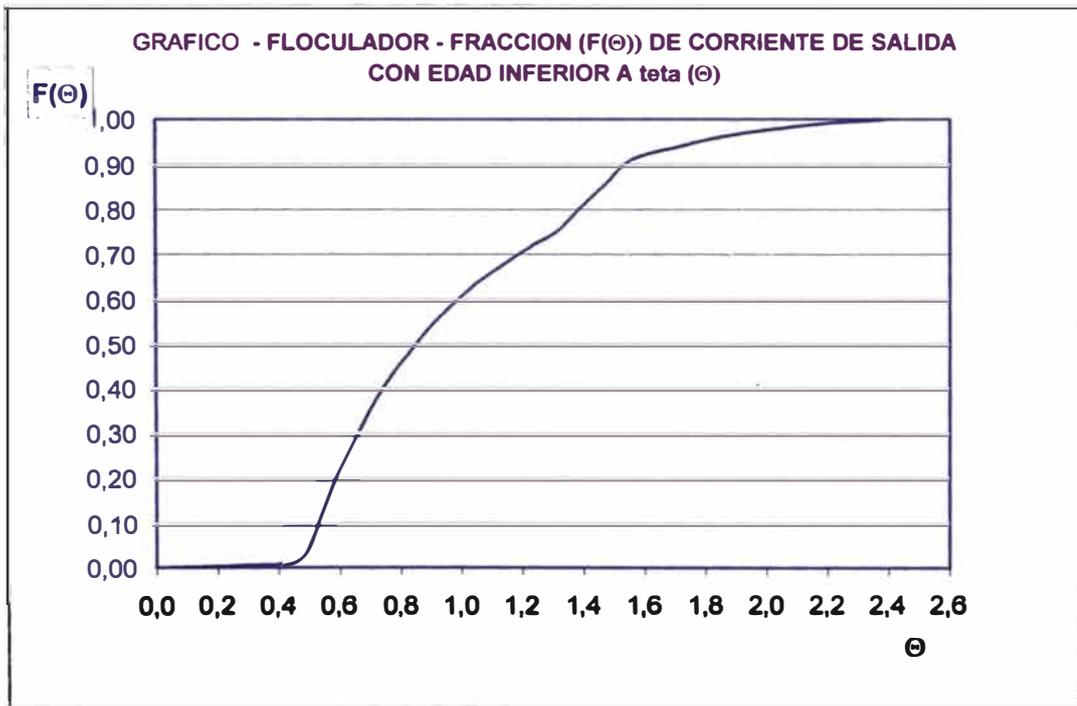
$$\theta = \frac{t}{t}$$

$$E(\theta) = \frac{C - C_o}{\int_0^{\infty} (C - C_o).d\theta}$$

$$\int_0^{\infty} E(\theta).d\theta = 1$$

Ver en Anexo: CUADRO A-9. Datos para la Curva de Distribución de tiempos de residencia en forma normalizada, $E(\theta)$ versus θ .

GRAFICO 7.2.3. CURVA DE DISTRIBUCION DE EDADES EN EL FLOCULADOR



$$F = \int_0^{\theta} E(\theta).d\theta$$

Ver en Anexo: CUADRO A-10. Cuadro de datos para Curva de Distribución de Edades, en el Floculador, $F(\theta)$ versus θ .

De la curva de distribución de edades:

Cuando $F=0,5$, $\theta=0,84$

$t_m = 0,84 \bar{t} = 0,84(24,36) = 20,46$ min (correspondiente al paso del 50% de la cantidad total de trazador).

$t_{90} = 1,53 \bar{t}$ (correspondiente al paso del 90% de cantidad total de trazador).

$t_{10} = 0,53 \bar{t}$ (correspondiente al paso del 10% de cantidad total de trazador).

Tiempo de residencia teórico : t_o

Cuando $Q = 36 \text{ lt / s}$ $V = 63,9 \text{ m}^3$,

$$t_o = \frac{V}{Q} = \frac{63,9 \text{ m}^3}{36 \text{ lt/s}} \cdot \frac{1}{60 \text{ s/min}} \cdot \frac{10^3 \text{ lt}}{\text{m}^3} = 29,6 \text{ min}$$

$$t_o = 29,6 \text{ min.}$$

Aplicando criterios del Método del CEPIS (Ver CUADRO 5.2.2):

$$\frac{t_p}{t_o} = \frac{14}{29,6} = 0,47$$

Existe predominio del flujo mezclado.

$$\frac{t_i}{t_o} = \frac{11}{29,6} = 0,37$$

$$\frac{t_m}{t_o} = \frac{20,46}{29,6} = 0,691$$

$$\frac{t_m}{t_o} < 1$$

Existen Cortocircuitos.

$$e = \frac{(t_f - t_p) - (t_p - t_i)}{t_o} = \frac{(60 - 14) - (14 - 11)}{29,6} = 1,45 \text{ . Flujo mezclado}$$

$$\text{Indice de Morril} = \frac{t_{90}}{t_{10}} = \frac{1,53}{0,53} = 2,89 \text{ .}$$

Refuerza el criterio de existencia de
flujo mezclado.

GRADIENTE OPTIMO.-

GRAFICO 7.2.4.:

GRADIENTE OPTIMO de FLOCULACION (31/03/99)

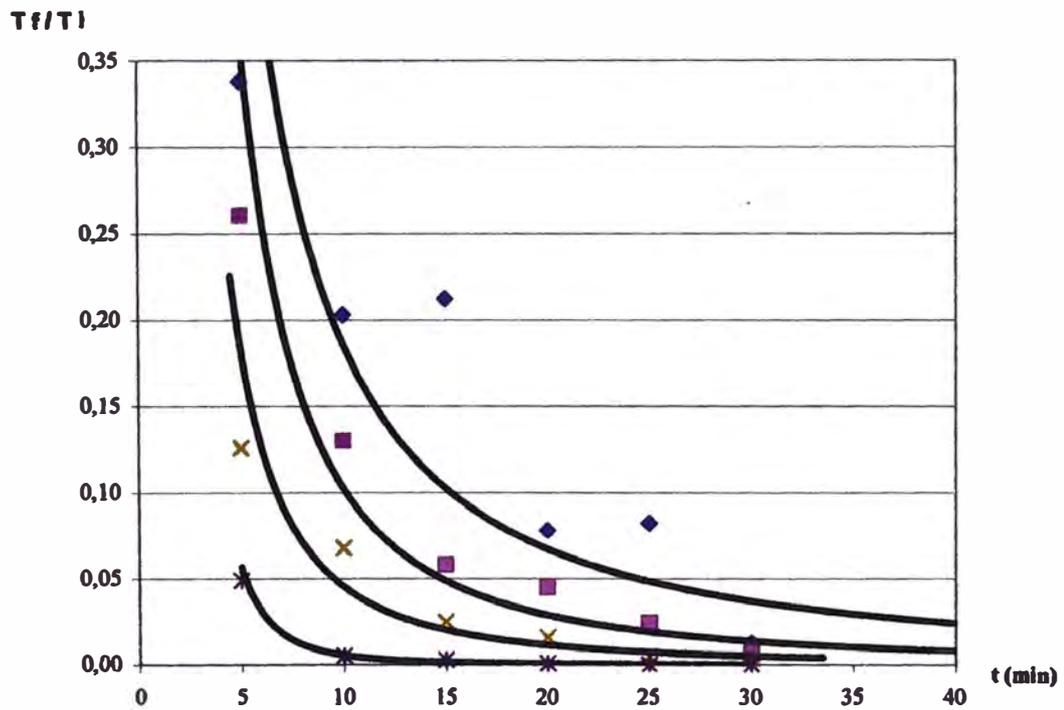
Prueba de Jarras.

Turb.Inicial:331 NTU.

Dosis Sulfato de aluminio: 35mg/lit

Concentrac.Sulfato de aluminio: 1% w/w.

◆ G=80/s ■ G=60/s
 ✕ G=40/s ✖ G=20/s



CUADRO 7.2.2. GRADIENTES Y TIEMPOS DE RESIDENCIA Q = 36 lt/s (Marzo 1999)

| Parámetro | Tramo 1 | Tramo 2 | Tramo3 |
|--|---------|---------|--------|
| Gradiente (s ⁻¹), según (Ec.1) | 21,6 | 53,1 | 40,3 |
| Gradiente óptimo (s ⁻¹) - Prueba de Jarras | 40 | 30 | 20 |
| Tiempo óptimo (min) | 5 | 5 | 5 |

La estimación del gradiente de velocidad G se realizó según fórmula de Camp y Stein, con datos de pérdida de carga (diferencia de niveles en líneas piezométricas), y tiempos de residencia estimados en campo.

Según fórmula de Camp y Stein:

$$G = \sqrt{\frac{h_f}{t}} \sqrt{\frac{g}{\nu_{\text{agua}}}}$$

La viscosidad cinemática del agua a 20 C, la pérdida de carga h_f en metros, y el tiempo t , en segundos:

$$G = 3114 \sqrt{\frac{h_f}{t}} \dots (\text{Ec.1})$$

CUADRO 7.2..3. GRADIENTES Y TIEMPOS DE RESIDENCIA

(Taller CEPIS de Mayo del 2001)

$Q = 32,5 \text{ lt/s}$

| Parámetro | Tramo 1 | Tramo 2 | Tramo3 |
|--|---------|---------|--------|
| Gradiente estimado (s^{-1}) según (Ec.1) | 14 | 47 | 31 |
| Gradiente óptimo (s^{-1}) - Prueba de Jarras | 40 | 30 | 20 |
| Tiempo óptimo (min) | 6 | 6 | 6 |

Los resultados en prueba de jarras (CUADRO 7.2.3) en cuanto a tiempo óptimo y gradientes óptimos son similares a los de la evaluación anterior (CUADRO 7.2.2).

El primer tramo del floculador se encontró sin pantallas. Debido a la fuerte pendiente del primer tramo (tanque) de 22,5 cm y a lo estrecho del paso (ancho de canal) de diseño se han destruido gran parte de las pantallas removibles y por ello las pantallas han sido retiradas.

En el segundo tramo se observó igualmente que algunas pantallas han sido removidas.

DIAGNOSTICO DE EVALUACION DE FLOCULACION.

Transcurridos aproximadamente dos años de la evaluación 1999, ha permanecido el primer tramo sin placas, y se ha incrementado el número de placas removibles de asbesto – cemento destruidas en el segundo y tercer compartimento, por consiguiente los gradientes de velocidad de operación se han reducido.

Como consecuencia de la remoción de placas, los gradientes de velocidad van de menos a más del primer tramo al segundo tramo, rompiéndose los flocs incipientes.

El patrón de flujo según resultados del estudio de dispersión axial es de flujo mezclado:

$$\frac{D}{uL} = 0,0712$$

El tiempo medio de residencia $\bar{t} = 24,36 \text{ min}$ (del estudio de la curva de distribución del trazador), es inferior al tiempo teórico de residencia $t_o = 29,6 \text{ min}$, debido a la existencia de cortocircuitos.

El análisis de la distribución de la concentración del trazador seguida según aplicando criterios del Método del CEPIS (Ver CUADRO 5.2.2), igualmente refuerza el diagnóstico de flujo mezclado y existencia de cortocircuitos.

Con el número de pantallas y separación de pantallas del diseño original del floculador, el gradiente de velocidad real en el primer tramo ha sido excesivo.

Los gradientes de velocidad del segundo y tercer tramo según modelación hidráulica en planta (CUADRO 7.2.2) son además altos con relación a los resultados de la Prueba de Jarras (Eval.Gradientes Óptimo, CUADRO 7.2.2 y 7.2.3).

Se observan microflocs en el canal de distribución de agua a los decantadores, es decir, la floculación se ha retardado trasladándose a la siguiente unidad.

RECOMENDACIONES DE EVALUACION DE FLOCULACION.

La turbiedad final de floculación puede reducirse por un rediseño o remodelación del mismo, con el número de canales, y separación adecuada entre pantallas removibles de asbesto-cemento, manteniéndolos los tanques actuales con las mismas dimensiones. Se recomienda nivelar el fondo del primer tramo dándole la misma inclinación suave que la correspondiente al tercer tramo (0,015%). Diseño que garantice la estabilidad del sistema ante caudales elevados.

| | | | |
|-------------------------------|----|----|----|
| Gradiente óptimo (s^{-1}) | 40 | 30 | 20 |
| Tiempo óptimo (min) | 5 | 5 | 5 |

7.3. EVALUACION DE DECANTADORES LAMINARES.

Características de Decantadores.

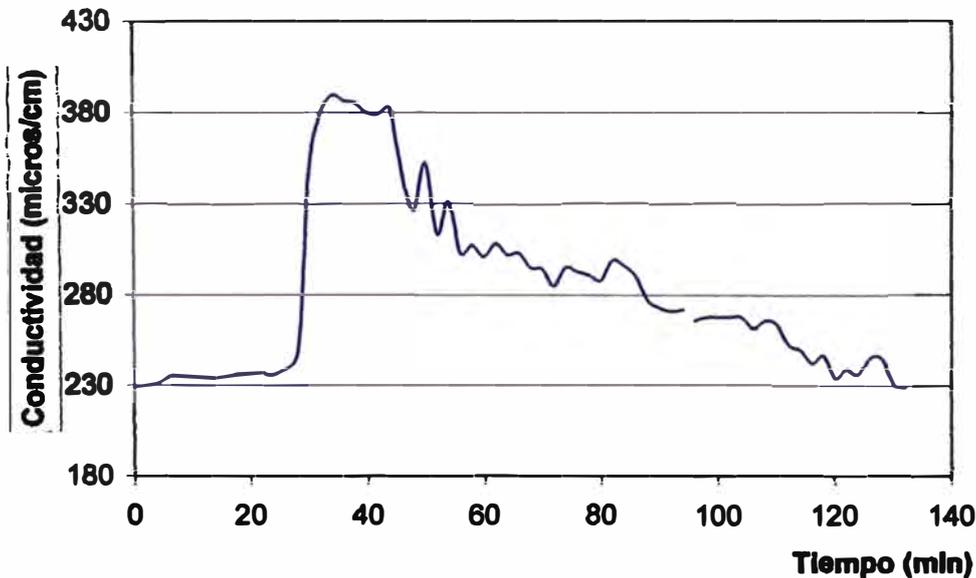
| |
|--|
| Número de Unidades = 03 |
| Caudal de diseño = 30 lt/s |
| Longitud total, $LT = 4,00$ |
| Espesor de las placas, $e = 1$ |
| Angulo de inclinación de las placas, $\theta = 60^\circ$ |
| Longitud del módulo de Placas, $\ell=120$ |
| Número de Canales=27 |
| Ancho total neto de la zona de Decantación, $B=2,44$ |

Caracterización Hidráulica y Estudio de Dispersión:

El Procedimiento fué el mismo procedimiento descrito en acápite 7.2 .

GRAFICO 7.3.1. CURVA DE DISTRIBUCIÓN DEL TRAZADOR ATRAVÉS DEL TIEMPO, A LA SALIDA DEL DECANTADOR-1 .

ENSAYO CON TRAZADORES-DECANTADOR 1



De la curva de distribución del trazador:

$t_p = 34$ min (tiempo modal correspondiente a máxima concentrac.en salida)

$t_i = 25$ min. (correspondiente a la aparición del trazador en el efluente)

$t_f = 132$ min (correspondiente al paso de la cantidad total del trazador aplicado).

CUADRO 7.3.1.-DECANTADORES LAMINARES - PRUEBA DE TRAZADORES - DATOS PARA CALCULO DE DISPERSION-DECANTADOR I

| Nº | Tiempo t_i (min) | Conductividad C_i , ($\mu\text{s.cm}^{-1}$) | C_i-C_o | $t_i (C_i-C_o)$ | $t_i^2 \cdot (C_i-C_o)$ |
|----|-----------------------|--|-----------|-----------------|-------------------------|
| 1 | 0 | 229 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 2 | 231 | 2 | 4 | 8 |
| 3 | 6 | 235 | 6 | 36 | 216 |
| 4 | 8 | 235 | 6 | 48 | 384 |
| 5 | 10 | 235 | 6 | 60 | 600 |
| 6 | 12 | 234 | 5 | 60 | 720 |
| 7 | 14 | 234 | 5 | 70 | 980 |
| 8 | 16 | 235 | 6 | 96 | 1536 |
| 9 | 18 | 236 | 7 | 126 | 2268 |
| 10 | 20 | 236 | 7 | 140 | 2800 |
| 11 | 22 | 237 | 8 | 176 | 3872 |
| 12 | 24 | 236 | 7 | 168 | 4032 |
| 13 | 28 | 247 | 18 | 504 | 14112 |
| 14 | 30 | 347 | 118 | 3540 | 106200 |
| 15 | 32 | 379 | 150 | 4800 | 153600 |
| 16 | 34 | 389 | 160 | 5440 | 184960 |
| 17 | 36 | 386 | 157 | 5652 | 203472 |
| 18 | 38 | 385 | 156 | 5928 | 225264 |
| 19 | 40 | 380 | 151 | 6040 | 241600 |
| 20 | 42 | 379 | 150 | 6300 | 264600 |
| 21 | 44 | 382 | 153 | 6732 | 296208 |
| 22 | 46 | 348 | 119 | 5474 | 251804 |
| 23 | 48 | 326 | 97 | 4656 | 223488 |
| 24 | 50 | 352 | 123 | 6150 | 307500 |
| 25 | 52 | 313 | 84 | 4368 | 227136 |
| 26 | 54 | 331 | 102 | 5508 | 297432 |
| 27 | 56 | 303 | 74 | 4144 | 232064 |
| 28 | 58 | 307 | 78 | 4524 | 262392 |
| 29 | 60 | 301 | 72 | 4320 | 259200 |
| 30 | 62 | 308 | 79 | 4898 | 303676 |
| 31 | 64 | 302 | 73 | 4672 | 299008 |
| 32 | 66 | 303 | 74 | 4884 | 322344 |
| 33 | 68 | 295 | 66 | 4488 | 305184 |
| 34 | 70 | 294 | 65 | 4550 | 318500 |
| 35 | 72 | 285 | 56 | 4032 | 290304 |
| 36 | 74 | 295 | 66 | 4884 | 361416 |
| 37 | 76 | 293 | 64 | 4864 | 369664 |
| 38 | 78 | 291 | 62 | 4836 | 377208 |
| 39 | 80 | 288 | 59 | 4720 | 377600 |
| 40 | 82 | 299 | 70 | 5740 | 470680 |
| 41 | 84 | 296 | 67 | 5628 | 472752 |
| 42 | 86 | 290 | 61 | 5246 | 451156 |
| 43 | 88 | 277 | 48 | 4224 | 371712 |
| 44 | 90 | 273 | 44 | 3960 | 356400 |
| 45 | 92 | 271 | 42 | 3864 | 355488 |

| CUADRO.7.3.1. CONTINUACION. | | | | | |
|-----------------------------|---------------------|--------------------------------|------------|--------------|----------------------------|
| No | Tiempo ti, (min) | Conductividad Ci, (ms.cm-1) | Ci-Co | ti (Ci-Co) | ti ² .(Ci-Co) |
| 46 | 94 | 272 | 43 | 4042 | 379948 |
| 47 | 96 | 266 | 37 | 3552 | 340992 |
| 48 | 98 | 268 | 39 | 3822 | 374556 |
| 49 | 100 | 268 | 39 | 3900 | 390000 |
| 50 | 102 | 268 | 39 | 3978 | 405756 |
| 51 | 104 | 268 | 39 | 4056 | 421824 |
| 52 | 106 | 262 | 33 | 3498 | 370788 |
| 53 | 108 | 266 | 37 | 3996 | 431568 |
| 54 | 110 | 264 | 35 | 3850 | 423500 |
| 55 | 112 | 253 | 24 | 2688 | 301056 |
| 56 | 114 | 250 | 21 | 2394 | 272916 |
| 57 | 116 | 253 | 24 | 2784 | 322944 |
| 58 | 118 | 247 | 18 | 2124 | 250632 |
| 59 | 120 | 234 | 5 | 600 | 72000 |
| 60 | 122 | 239 | 10 | 1220 | 148840 |
| 61 | 124 | 236 | 7 | 868 | 107632 |
| 62 | 126 | 246 | 17 | 2142 | 269892 |
| 63 | 128 | 245 | 16 | 2048 | 262144 |
| 64 | 130 | 231 | 2 | 260 | 33800 |
| 65 | 132 | 229 | 0 | 0 | 0 |
| | Σ ti = | | Σ(Ci-Co) = | Σti.(Ci-Co)= | Σ(ti ² (Ci-Co)) |
| | 4392,00 | | 3508 | 212376 | 15152328 |

Periodo de Retención Promedio= $\bar{t} = 60,54$ min

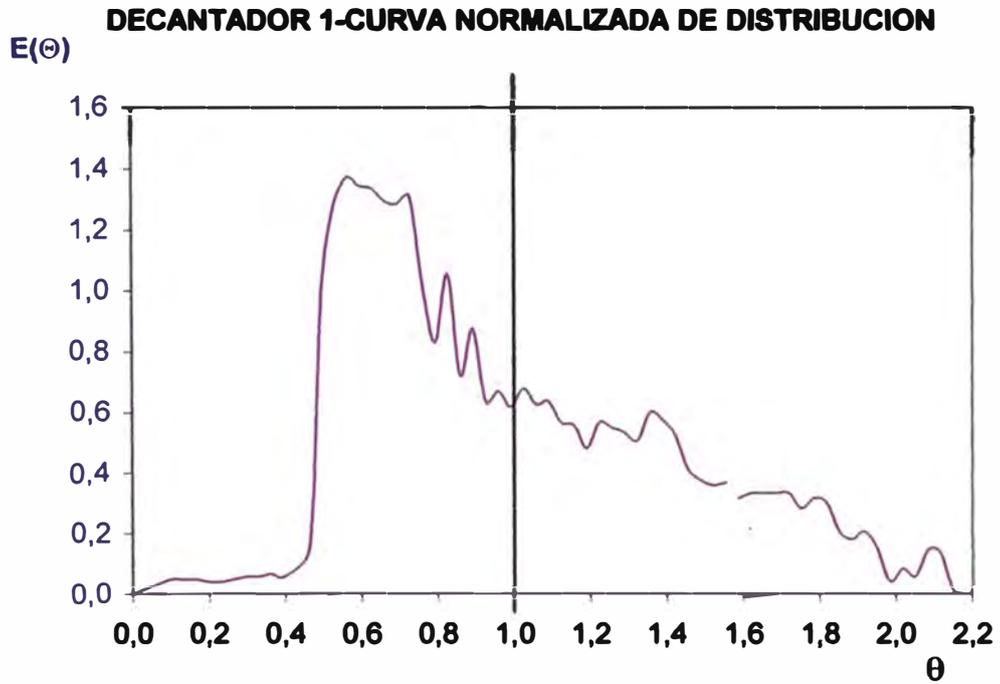
Varianza = $\sigma^2 = 654,21$

Varianza Adimensional= $\sigma_{\theta}^2 = 0,1785$

$$\sigma_{\theta}^2 = \frac{\sigma^2}{\bar{t}^2} = 2\left(\frac{D}{uL}\right) + 8\left(\frac{D}{uL}\right)^2$$

$$\frac{D}{uL} = 0,070$$

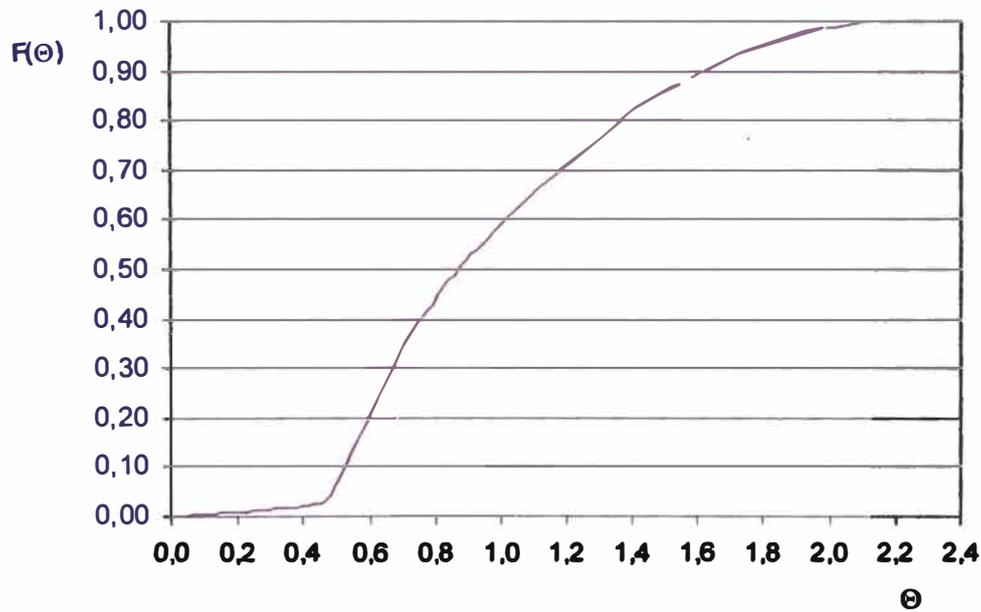
GRAFICO 7.3.2.



Ver en Anexo: CUADRO A-11. Datos para la Curva de Distribución de tiempos de residencia en forma normalizada, en Decantador 1, $E(\theta)$ versus θ

Ver en Anexo: CUADRO A-12. Datos para Curva de Distribución de Edades, e en el Decantador-1, $F(\theta)$ versus θ

GRAFICO 7.3.3 - DECANTADOR 1-FRACCION ($F(\theta)$) DE CORRIENTE DE SALIDA CON EDAD INFERIOR A θ (θ)



De la curva de distribución de edades :

Cuando $F=0,5$, $\theta=0,87$

$t_m = 0,87 \bar{t} = 0,87.(60,54) = 52,7$ min (correspondiente al paso del 50% de la cantidad total de trazador).

$t_{90} = 1,61 \bar{t}$ (correspondiente al 90% de la cantidad total de trazador).

$t_{10} = 0,52 \bar{t}$ (correspondiente al 10% de la cantidad total de trazador).

Tiempo de residencia teórico : t_o

Cuando $Q = 36 \text{ lt / s}$

$V = 34,1 \text{ m}^3$,

$$t_o = \frac{V}{Q} = \frac{34,1 \text{ m}^3}{\left(\frac{36 \text{ lt/s}}{3}\right)} \cdot 60 \frac{\text{s}}{\text{min}} \cdot \frac{10^3 \text{ lt}}{\text{m}^3} = 47,4 \text{ min}$$

$$t_o = 47,4 \text{ min.}$$

Aplicando criterios del Método CEPIS (Ver CUADRO 5.2.2):

$$\frac{t_p}{t_o} = \frac{34}{47,4} = 0,717$$

Existe predominio de flujo mezclado

$$\frac{t_i}{t_o} = \frac{25}{47,4} = 0,527$$

$$\frac{t_m}{t_o} = \frac{52,7}{47,4} = 1,11$$

$$, \quad \frac{t_m}{t_o} > 1$$

Existen espacios muertos

$$e = \frac{\left(t_f - t_p\right) - \left(t_p - t_i\right)}{t_o} = \frac{(132 - 34) - (34 - 25)}{15,8} = 5,63.$$

Existe Flujo mezclado

$$\text{Indice de Morril} = \frac{t_{90}}{t_{10}} = \frac{1,61}{0,52} = 3,09$$

Existe flujo mezclado.

Número de Reynolds del Decantador 1:

Q máximo total = 45 lt/s.

Q máximo decantador 1 = 15 lt/s.

Re máximo = 453,9 (Ver Anexo: CUADRO 1-A- HOJA DE CALCULO).

Re máximo = 453,9 (Ver Anexo: CUADRO 1-A- HOJA DE CALCULO).

Este valor excede el número de Re recomendado para decantadores de alta tasa o laminares.

Eficiencia de Decantación:

CUADRO 7.3.2. EFICIENCIA DE DECANTADORES:

| Fecha | Turbiedad de Agua Cruda, NTU | Turbiedad Agua Decantada | | |
|----------|------------------------------|--------------------------|--------------|--------------|
| | | Decantador 1 | Decantador 2 | Decantador 3 |
| 29/03/99 | 306,0 | 2,94 | 1,84 | 2,44 |
| 30/03/99 | 426,0 | 1,42 | 1,40 | 1,38 |

En la evaluación puntual del 29/03/99 se observó la diferencia en % de remoción de turbiedad en los decantadores.

CUADRO 7.3.3.

EFICIENCIA DE DECANTADORES - Taller CEPIS 2001:

| Fecha | Turbiedad Agua Cruda, NTU | Turbiedad Agua Decantada (*) |
|----------|---------------------------|------------------------------|
| 22/04/01 | 3,02 | 1,06 |
| 23/04/01 | 2,94 | 2,31 |

(*) Muestras tomadas en el canal común de recolección de agua decantada.

Ver en Anexo: CUADRO A-8. Data Hist. EMAPA CAÑETE (Enero-Abril-2002).

Este valor excede el número de Re recomendado para decantadores de alta tasa o laminares.

Eficiencia de Decantación:

CUADRO 7.3.2. EFICIENCIA DE DECANTADORES:

| Fecha | Turbiedad de Agua Cruda, NTU | Turbiedad Agua Decantada | | |
|----------|------------------------------|--------------------------|--------------|--------------|
| | | Decantador 1 | Decantador 2 | Decantador 3 |
| 29/03/99 | 306,0 | 2,94 | 1,84 | 2,44 |
| 30/03/99 | 426,0 | 1,42 | 1,40 | 1,38 |

En la evaluación puntual del 29/03/99 se observó la diferencia en % de remoción de turbiedad en los decantadores.

CUADRO 7.3.3.

EFICIENCIA DE DECANTADORES - Taller CEPIS 2001:

| Fecha | Turbiedad Agua Cruda, NTU | Turbiedad Agua Decantada (*) |
|----------|---------------------------|------------------------------|
| 22/04/01 | 3,02 | 1,06 |
| 23/04/01 | 2,94 | 2,31 |

(*) Muestras tomadas en el canal común de recolección de agua decantada.

Ver en Anexo: CUADRO A-8. Data Hist. EMAPA CAÑETE (Enero-Abril-2002).

ENSAYO DE SEDIMENTABILIDAD:

Prueba de Jarras. (30/03/1999).

Turbiedad del Agua Cruda: 426 NTU.

Dosis: 35 mgr sulfato de aluminio/lt

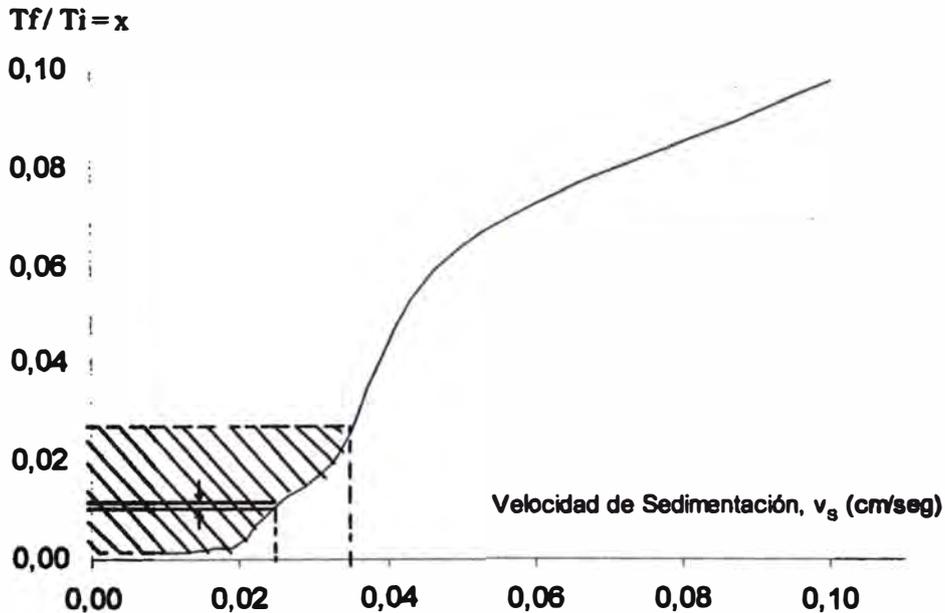
Gradiente de Mezcla Rápida: 700 s⁻¹

Gradiente de Floculación: 40, 30 y 20 s⁻¹

Tiempo de Floculación: 5 min cada compartimento.

GRAFICO 7.3.4.

DETERMINACION DE LA VELOCIDAD DE SEDIMENTACION



CUADRO 7.3.4. TASA DE DECANTACION Y % DE REMOCION

| Tasa de Sedimentación m ³ /m ² .DÍA | Velocidad de Sedimentación V _{sc} , cm/seg | $x_{sc} = \left(\frac{T_i}{T_o} \right)_{sc}$ | % de Remoción Turbiedad. |
|--|--|--|--------------------------|
| 40 | 0,0463 | 0,0590 | 95,7 |
| 30 | 0,0347 | 0,0251 | 99,2 |
| 25 | 0,0289 | 0,0116 | 99,4 |
| 20 | 0,0231 | 0,0109 | 99,6 |

Donde:

$$V_{sc} = Q/A$$

$$x_{sc} = \left(\frac{T_i}{T_o} \right)_{sc}$$

$$\text{Re moción} = (1 - X_{sc}) + \frac{1}{V_{sc}} \int_0^{x_{sc}} V_s . dx$$

Distribución de Caudales a Decantadores:

En el estudio de la referencia (Taller CEPIS 2001) se reporta una desigual distribución de caudales a los cuatro decantadores:

CUADRO 7.3.5. Taller CEPIS 2001(Fecha: 23/05/2001)

| | Decantador 1 | Decantador 2 | Decantador 3 | Total |
|--------------|--------------|--------------|--------------|------------|
| Caudal | 15,47 lt/s | 9,54 | 7,54 | 32,55 lt/s |
| % Caudal | 47,5% | 29,3% | 23,2% | 100% |
| % Desviación | +42,5% | -12,0% | -30,5% | |

Tasas de Recolección:

Se observan desniveles en las canaletas (vertederos) de recolección, lo cual origina una diferencia en tasas de recolección con relación a las de diseño.

Largo de la canaleta de recolección: 3 metros (diseño)

Longitud total de recolección : 6 metros (diseño). 1,80 lt / m.s

CUADRO 7.3.6.

TASA DE RECOLECCIÓN DE AGUA DECANTADA A 32,55 lt/s.(29/03/99)

| | Decantador 1 | Decantador 2 | Decantador 3 |
|------------|---------------|--------------|--------------|
| Proyectado | 1,80 lt / m.s | | |
| Real | 5,17 lt / m.s | 6,45 | 8,38 |

DIAGNOSTICO DE EVALUACION DE DECANTACION.

El patrón de flujo según resultados del estudio de dispersión axial es de flujo mezclado:

$$\frac{D}{uL} = 0,070$$

El tiempo medio de residencia $t = 60,54$ min, del estudio de la curva de distribución del trazador en el floculador, es superior al tiempo teórico de residencia $t_0 = 47,4$ min, debido a la existencia de espacios muertos.

La distribución de la concentración del trazador (Distribución de Edades, en el Decantador-1, $F(\theta)$ versus θ), analizada según criterios del CEPIS (método CEPIS) igualmente refuerza el diagnóstico de flujo mezclado y existencia de espacios muertos.

Las Observaciones siguientes, explican la diferencia en % de remoción de los 3 decantadores:

- a) Diferencias en Tasas de Decantación en las 3 unidades de decantación (deficiencia en el diseño del canal de distribución).
- b) La formación retardada de flocs en el canal de distribución a las unidades de decantación, por deficiencias en las unidades de floculación.
- c) Dispositivo de entrada (una ventana) a cada unidad no ofrece una distribución homogénea del agua floculada en el decantador, lo que propicia además la existencia de espacios muertos.
- d) Preponderancia de flujo mezclado, por número de Reynolds elevados para decantadores laminares.
- e) El volúmen de la zona de lodos es menor del 50% (mínimo recomendado) del volúmen total del tanque decantador.

RECOMENDACIONES DE EVALUACIÓN DE DECANTACION:

Rediseñar el canal de distribución de agua floculada a las tres unidades de decantación.

Diseñar tuberías distribuidoras sumergidas con perforaciones (orificios equidistantes) en los tanques decantadores laminares para una distribución más homogénea del agua floculada.

Rediseñar el decantador, redimensionando el número de placas inclinadas y la separación entre ellas para disminuir la velocidad de escurrimiento, aumentar el % de remoción de turbiedad y disminuir el número de Reynolds.

Remodelar los vertederos de recolección de agua decantada nivelándolos con la horizontal.

7.4. EVALUACION DE FILTROS RAPIDOS DE TASA DECLINANTE Y LAVADO MÚTUO.

Eficiencia de Filtración:

CUADRO 7.4.1.- TURBIEDAD DEL AGUA FILTRADA

| Fecha | Turbiedad Agua Cruda, NTU | Turbiedad Agua Decantada | | | Turbiedad del Agua Filtrada(**) |
|----------|---------------------------|--------------------------|---------|---------|---------------------------------|
| | | Decan.1 | Decan.2 | Decan.3 | |
| 29/03/99 | 306,0 | 2,94 | 1,84 | 2,44 | 0,13 |
| 30/03/99 | 426,0 | 1,42 | 1,40 | 1,38 | 0,15 |

(**) Las muestras fueron tomadas en el canal común de salida de los seis filtros. Las salidas de los filtros no son accesibles y los filtros no pueden aislarse.

CUADRO 7.4.2.- TURBIEDAD DEL AGUA FILTRADA - Taller CEPIS 2001

| Fecha | Turbiedad Agua Cruda, NTU | Turbiedad Agua Decantada (*) | Turbiedad del Agua Filtrada(**) |
|----------|---------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| 22/04/01 | 3,02 | 1,06 | 1,09 |
| 23/04/01 | 2,94 | 2,31 | 0,29 (***) |

(*) Muestras tomadas en el canal común de recolección de agua decantada.

(***) Filtración al cabo del lavado de uno de los filtros.

Ensayos Granulométricos del Medio Filtrante.-

CUADRO 7.4.3. Resultados - GRANULOMETRIA - Muestreo: 30/03/99

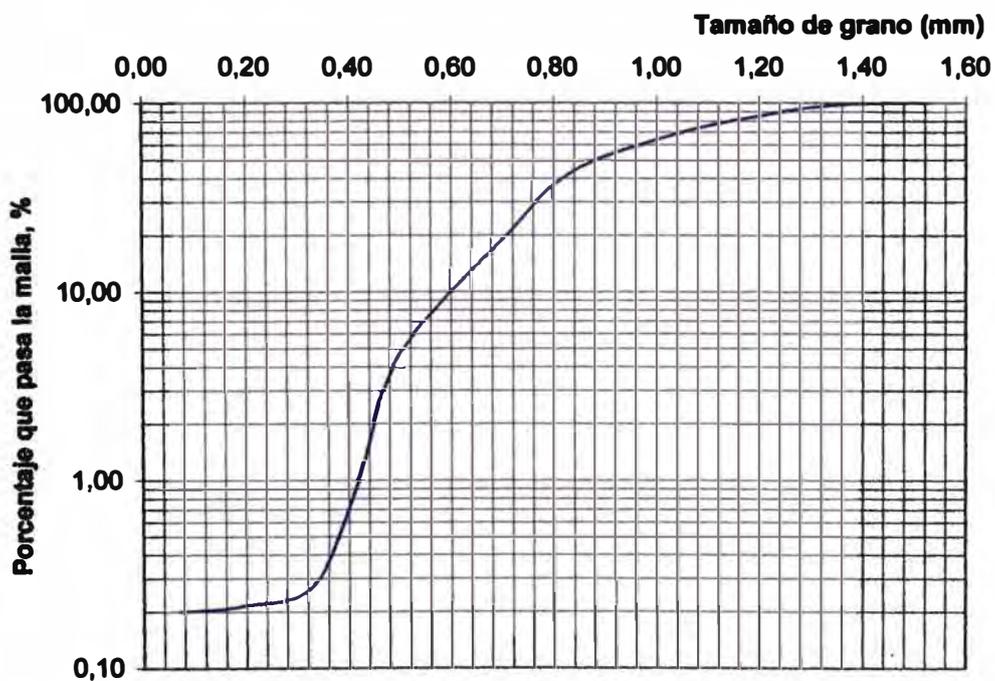
| Parámetro | Filtro 1 | Filtro 2 | Filtro 3 | Filtro 4 | Filtro 5 | Filtro 6 |
|--------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| d_{10} | 0,60 mm | 0,60 | 0,69 | 0,51 | 0,62 | 0,69 |
| d_{60} | 0,97 mm | 0,98 | 1,03 | 0,88 | 1,01 | 0,81 |
| $CU=d_{60}/d_{10}$ | 1,61 | 1,61 | 1,49 | 1,72 | 1,63 | 1,64 |

CUADRO 7.4.4. Resultado - GRANULOMETRIA - Muestreo: 23/05/2001.

| Parámetro | Filtro 1 | Filtro 2 | Filtro 3 | Filtro 4 | Filtro 5 | Filtro 6 |
|--------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| d_{10} | 0,61mm | 0,60 | 0,60 | 0,63 | 0,60 | 0,63 |
| d_{60} | 0,91mm | 0,88 | 0,89 | 0,88 | 0,85 | 0,89 |
| $CU=d_{60}/d_{10}$ | 1,49 | 1,46 | 1,48 | 1,41 | 1,42 | 1,42 |

GRAFICO 7.4.1:

**Curva Granulométrica Lecho de Arena-FILTRO 1
fecha de muestreo: 30/03/99**



En líneas generales se observa comparando ambos cuadros, la notoria diferencia en el coeficiente de uniformidad al cabo de dos años.

Espesor del Lecho Filtrante:

CUADRO 7.4.5. ESPESOR DE ARENA fecha: 30/03/1999

| Parámetro | Filtro 1 | Filtro 2 | Filtro 3 | Filtro 4 | Filtro 5 | Filtro 6 |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Altura prom.del lecho filtrante arena, (m.) | 0,85 | 0,80 | 0,79 | 0,75 | 0,80 | 0,69 |

CUADRO 7.4.6. ESPESOR DE ARENA fecha: 23/05/2001 / Taller CEPIS.

| Parámetro | Filtro 1 | Filtro 2 | Filtro 3 | Filtro 4 | Filtro 5 | Filtro 6 |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Altura prom.del lecho filtrante arena, (m.) | 0,85 | 0,83 | 0,75 | 0,69 | 0,74 | 0,51 |

En general la comparación de espesores de lecho filtrante en el lapso de análisis, indican pérdida del medio filtrante.

Lavado de Filtros:

El lavado mútuo se realizaba hasta el 2001 de modo irregular, no se cumplía un programa de lavado de filtros. Los filtros tenían diferentes carreras (tiempos) de filtración entre lavados que varían incluso en más de 50 horas. Algunos filtros se lavaban varias veces seguidas en un día, otros tenían carreras de filtración de varios días. Lo señalado significa, que los filtros no estaban operando en modo de tasa declinante.

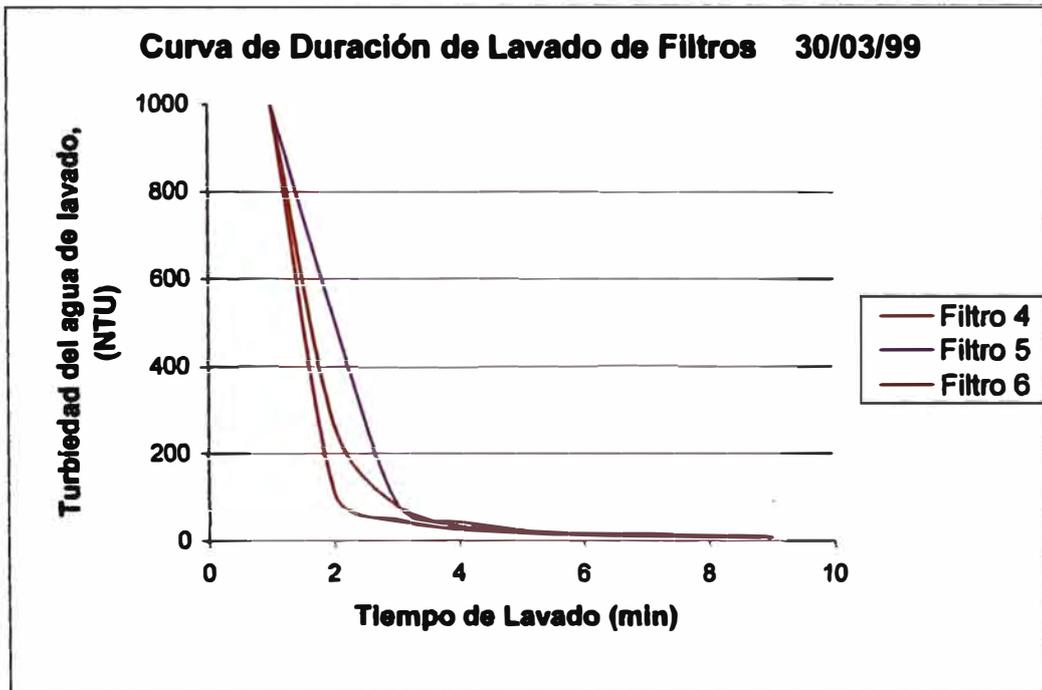
Actualmente, existe un programa de lavado de filtros secuencial, según el cual debe lavarse un filtro diferente aproximadamente cada 24 horas.

La Duración Óptima de Lavado de Filtros se encontró en época de turbiedad alta (30/03/99) es de 9 minutos:

GRAFICO 7.4.2.:



GRAFICO 7.4.3.:



Expansión del Medio Filtrante.-

ESTUDIO DE EXPANSIÓN DEL MEDIO FILTRANTE:

CUADRO 7.4.6.

Fecha: 30/03/1999

| Parámetro | Filtro 1 | Filtro 2 | Filtro 3 | Filtro 4 | Filtro 5 | Filtro 6 |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Altura prom.del lecho filtrante arena, (m.) | 0,85 | 0,80 | 0,79 | 0,75 | 0,80 | 0,69 |
| % Expansión del lecho durante lavado | ---- | 29,5% | 35,8 | 40 | 35,3 | 36,0 |

CUADRO 7.4.7.

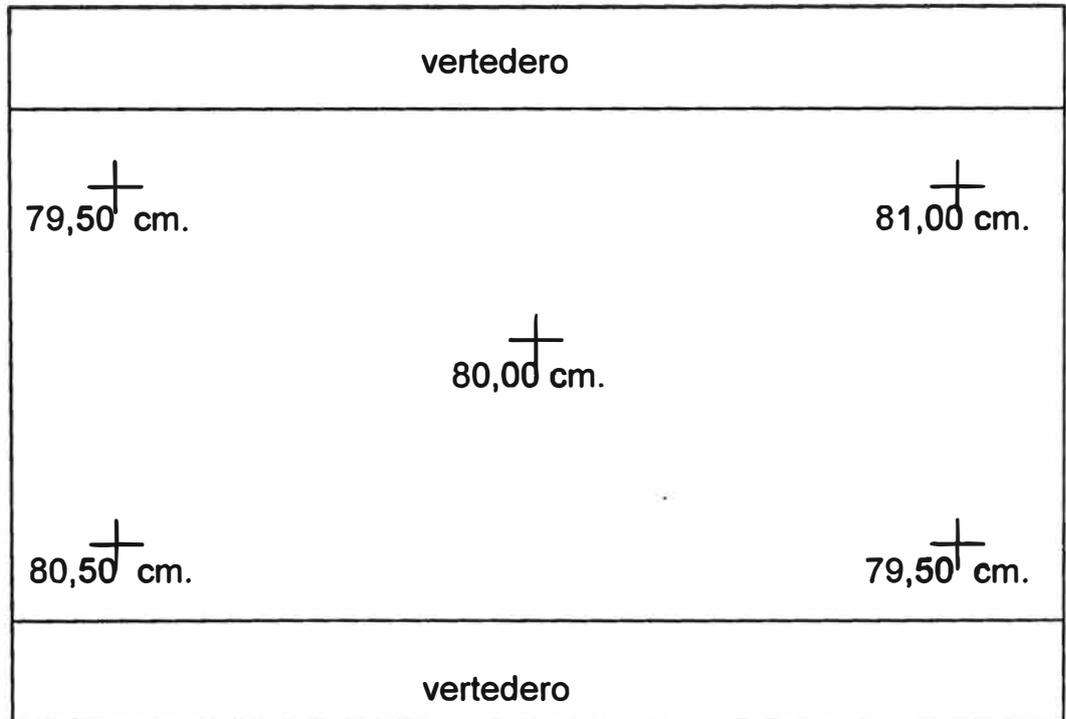
Fecha: 23/05/2001

Taller CEPIS 2001.

| Parámetro | Filtro 1 | Filtro 2 | Filtro 3 | Filtro 4 | Filtro 5 | Filtro 6 |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Altura prom.del lecho filtrante arena, (m.) | 0,85 | 0,83 | 0,75 | 0,69 | 0,74 | 0,51 |
| % Expansión del lecho durante lavado | 18% | 18-20% | 20-26% | 43-22% | 20-40% | 39-69% |

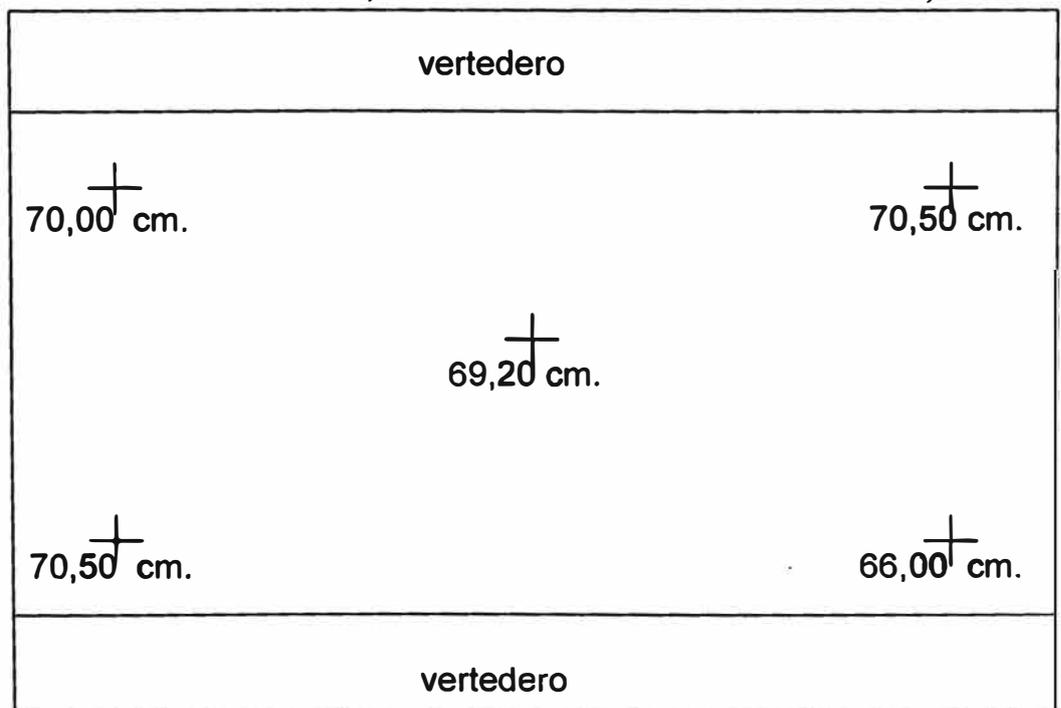
ESQUEMA 7.4.1.

ALTURA DEL LECHO FILTRANTE- FILTRO 5 (30/03/99)
Tasa de Filtración= 208,5 m³/m²día Altura Promedio = 80,10 cm



ESQUEMA 7.4.2.:

ALTURA DEL LECHO FILTRANTE- FILTRO 6 (30/03/99)
Tasa de Filtración= 208,5 m³/m²día Altura Promedio = 69,24 cm



ESQUEMA 7.4.3:

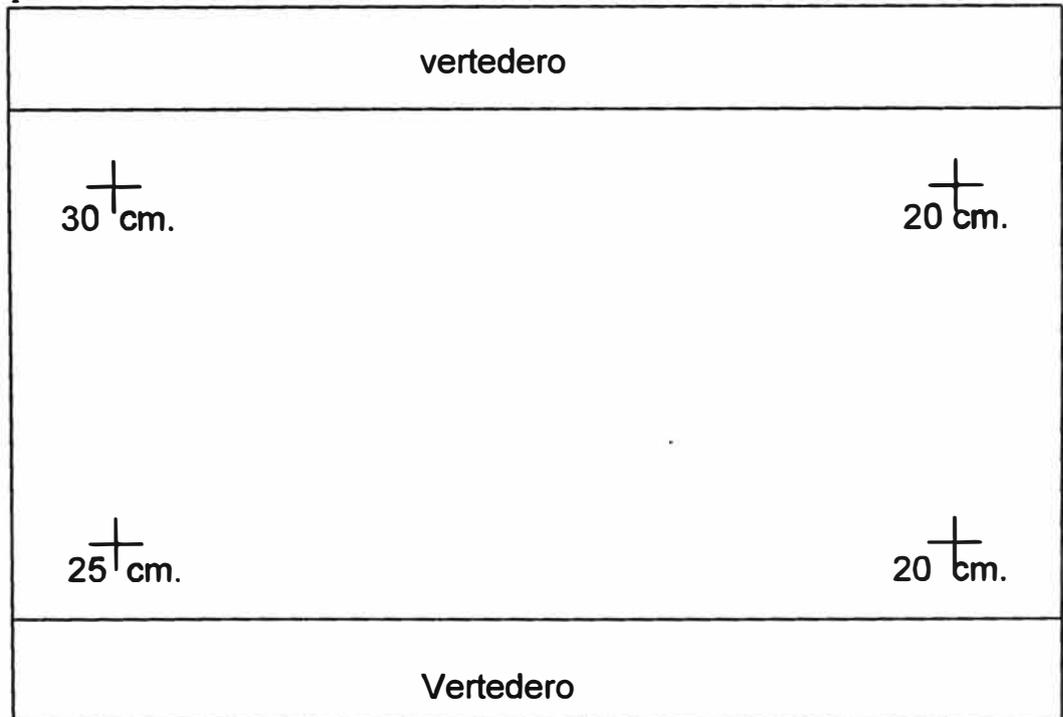
LAVADO DE FILTRO-EXPANSION DE LECHO DE ARENA - FILTRO 2

Velocidad Promedio de Lavado = 0,87 m/min

(30/03/99)

Expansión Promedio = 23.75 cm.

% de Expansión = 29,5 %



ESQUEMA 7.4.4.:

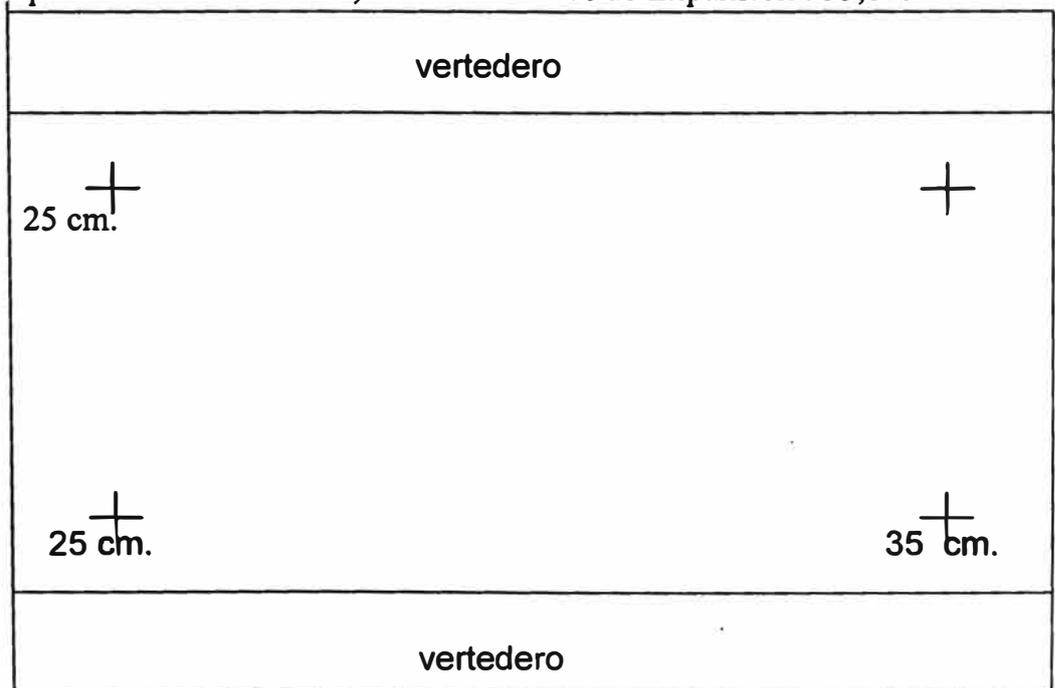
LAVADO DE FILTRO-EXPANSION DE LECHO DE ARENA- FILTRO 3

Velocidad Promedio de Lavado = 0,87 m/min

(30/03/99)

Expansión Promedio = 28,3 cm

% de Expansión : 35,8%



Formación de Bolas de Lodo

Durante el estudio granulométrico (muestreo :30/03/99) ya se observaron bolas de lodo.

El reporte del Taller del CEPIS (23/05/2001) informa de la presencia de grandes bolas de lodo, de tamaño 5 a 6 cm de diámetro.

DIAGNÓSTICO DE EVALUACIÓN DE FILTRACIÓN.-

De la evaluación de las unidades de filtración se pueden resumir lo siguiente:

Disminución promedio de 12 % en el coeficiente de uniformidad de la arena en dos años (CUADRO 7.4.3 y CUADRO 7.4.4).

El espesor de cada lecho de arena se encuentra dentro del rango recomendado para filtros de medio simple: 0,6 m a 0,8 m.

El espesor promedio de los lechos de arena ha disminuido en 10% en dos años.

Los espesores promedios de la arena diferían entre sí, hasta en 40% en mayo del 2001, según CUADRO 7.4.6.

Notoria diferencia en los porcentajes de expansión de arena durante el lavado.

Según el CUADRO 7.4.7 , en el filtro que conserva mayor espesor de arena en la batería de filtración la expansión es de 18 % , valor por debajo del rango recomendado.

El Personal de la Planta 2, afirma la ausencia de arena en las canaletas de recolección de agua de lavado en cualquier época del año.

Presencia de grandes bolas de lodo en la arena (mayo 2001).

No existencia , hasta el 2001, de un programa adecuado de lavado de filtros.

De las observaciones anteriores se puede diagnosticar lo siguiente:

- Deficiencias en el proceso de lavado. El lavado mútuo es insuficiente cuando baja el caudal de planta. El coeficiente de uniformidad de arena no corresponde al diseño inicial en correspondencia al nivel de vertedero de control de lavado.
- Diferentes tiempos o corridas de filtración de los filtros, y diferentes tiempos de lavado, hasta el 2001. Lo que significa que la batería de filtros no estuvo operando en tasa declinante.
- La disminución de la altura del lecho filtrante en un lapso de tres años (1999-2001) puede explicarse por pérdidas en el sistema de drenaje (falso fondo).

- Promedio de la turbiedad del agua filtrada entre Enero-Abril del 2002 por encima del recomendado por Environmental Protection Agency (EPA) de U.S.A. , de 0,3 NTU.

RECOMENDACIONES DE LA EVALUACION DE FILTRACION:

- 1) Rediseñar la bateria de filtros, de modo que:
 - Los niveles de el vertedero de control de lavado mútuo de la bateria de filtros y los vertederos de colección del agua de lavado sean reajustables (con ángulos metálicos de acero) variables para dos o tres caudales diferentes durante el año.
 - El tamaño de arena permita un porcentaje de expansión dentro de los márgenes recomendados (20% a 50%) para asegurar una limpieza eficiente.
- 2) Sistematizar las operaciones de corrida de filtración, lavado de filtros y mantenimiento de los filtros, para asegurar el modo de tasa declinante y lavado mútuo.
- 3) Optimizar la operación de filtración, tal que se mantenga una turbiedad de agua filtrada inferior a 0,3 NTU para asegurar la retención de virus y protozoarios.

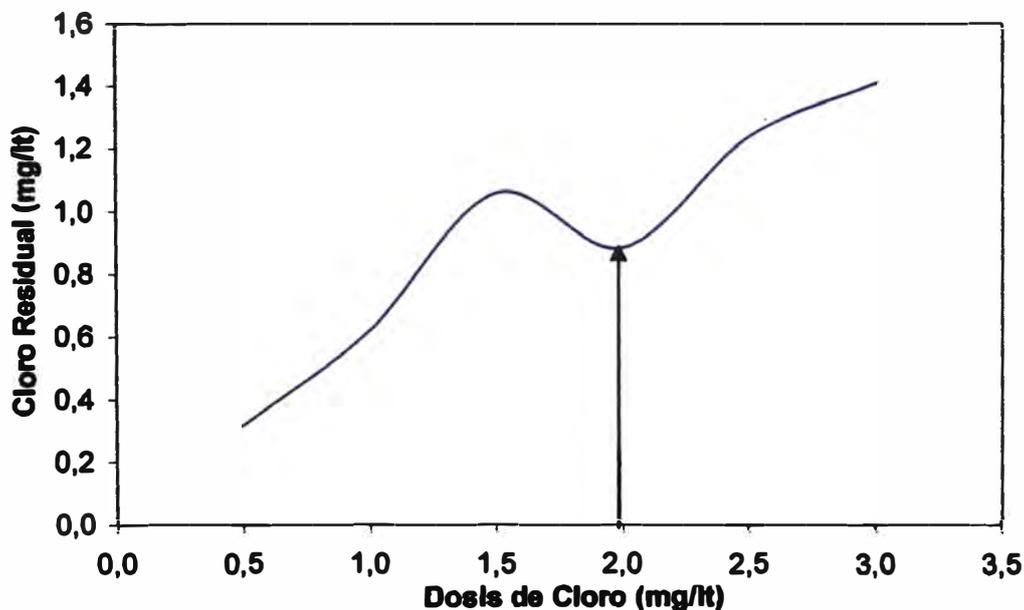
7.5. EVALUACION DE DESINFECCION.

En la estación de cloración se opera con cilindros de capacidad 67 Kgrs.

El sistema de cloración es de cloro en solución, y el Clorinador con el sistema de vacío inducido por un eyector (ver en anexo FOTO 10A)

El análisis de Demanda de Cloro en Laboratorio para el agua cruda es de 2,0 mgr/litro (Marzo 1999). Ver en anexo data histórica de EMAPA CAÑETE, desde marzo a abril del 2002.

GRAFICO 7.5.1. DEMANDA DE CLORO - PLANTA 2
Muestra: 30/03/99



Según la referencia (2) (Curso Taller CEPIS 2001), el tiempo de contacto real en el tanque de contacto de cloración es de 30 minutos.

No se cuenta con equipos de protección personal. Los cilindros no tienen ningún sistema de sujeción contra volcaduras (Ver anexo: FOTO 11A).

La desinfección con cloración (en condiciones normales: 30 minutos de tiempo de retención y como mínimo 1ppm de cloro residual) no es garantía de destrucción de esporas y quistes de protozoarios (como amibas, giardia lamblia y criptosporidium), por lo cual la EPA recomienda valores muy bajos de turbiedad del agua filtrada, inferiores a 0,3 NTU.

Actualmente se realizan en el Laboratorio de la Planta análisis bacteriológicos estándar (Técnica del filtro de membrana, ver en anexo FOTO 13A), para la detección de coliformes totales y coliformes fecales del agua producida. Los ensayos no son aplicables al agua cruda.

El Laboratorio cuenta con un Kit para determinación de cloro residual.

El promedio de cloro residual del agua del reservorio de agua potable en un lapso de 4 meses del 2002 : Enero a Abril del 2002 (Fuente EMAPA CAÑETE) fué de 1,3 ppm..

La inyección del agua clorada se realiza delante de la estación de cloración, en la línea de conducción del agua filtrada hacia el reservorio. En ésta tubería existe una avería cubierta con una piedra, a medio metro aproximadamente del punto de inyección.

8. REDISEÑO DE LAS UNIDADES DE OPERACIÓN OBSERVADAS.

8.1. REDISEÑO DEL FLOCULADOR.

TABLA 1 – GRADIENTES DEL FLOCULADOR - REDISEÑO

| Gradiente, G (s^{-1}) | | |
|---------------------------|---------|---------|
| Tramo 1 | Tramo 2 | Tramo 3 |
| 40 | 30 | 20 |

TABLA 2 - ANCHO DE CANALES - REDISEÑO

| Caudal (m^3/s) | Ancho (cm) | | |
|-----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | Tramo 1 | Tramo 2 | Tramo 3 |
| | $G = 40 s^{-1}$ | $G = 30 s^{-1}$ | $G = 20 s^{-1}$ |
| 0,035 | 25,6 | 31,7 | 40,0 |
| 0,045 | 24,4 | 30,1 | 36,5 |

TABLA 3 - PERDIDA DE CARGA TOTAL - REDISEÑO

| Caudal (m^3/s) | Pérdida de carga total (m) | | |
|-----------------------|----------------------------|-----------------|-----------------|
| | $G = 40 s^{-1}$ | $G = 30 s^{-1}$ | $G = 20 s^{-1}$ |
| 0,035 | 0,0463 | 0,0283 | 0,0135 |
| 0,045 | 0,0491 | 0,030 | 0,016 |

TABLA 4 - LONGITUD POR TRAMO - REDISEÑO

| Caudal (m^3/s) | Longitud | | |
|--------------------|----------|---------|---------|
| | Tramo 1 | Tramo 2 | Tramo 3 |
| 0,035 | 2,48 | 2,96 | 2,98 |
| 0,045 | 2,48 | 2,97 | 2,96 |
| Longitud Actual | 2,48 | 2,98 | 2,96 |

TABLA 5– TIEMPO DE RETENCION HIDRAULICO - REDISEÑO

| Caudal (m^3/s) | Tiempo (min) | | |
|-----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | $G = 40 s^{-1}$ | $G = 30 s^{-1}$ | $G = 20 s^{-1}$ |
| 0,035 | 4,5 | 5,4 | 5,4 |
| 0,045 | 4,8 | 5,7 | 5,7 |

TABLA 6 – NUMERO DE CANALES - REDISEÑO

| Caudal (m^3/s) | Número Canales. | | |
|-----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | $G = 40 s^{-1}$ | $G = 30 s^{-1}$ | $G = 20 s^{-1}$ |
| 0,035 | 9 | 9 | 7 |
| 0,045 | 10 | 10 | 8 |

CUADRO 8.1.1. –REDISEÑO FLOCULADOR HIDRAULICO DE PANTALLAS DE FLUJO HORIZONTAL- A 45 lt/s.

DATOS:

| | | |
|----------------|-------------------|-------|
| Q DISEÑO | m ³ /s | 0,045 |
| TRH Tramo 1 | min | 4,74 |
| TRH Tramo 2 | min | 5,7 |
| TRH Tramo 3 | min | 5,7 |
| v ₁ | m/s | 0,21 |
| v ₂ | m/s | 0,17 |
| v ₃ | m/s | 0,14 |

| | | |
|----------------------------|-------------------------------------|-------|
| H. AGUA | m. | 0,88 |
| ANCHO TRAMO 1 | m. | 6 |
| ESPEJOR PANTALLA | m. | 0,006 |
| Coefic. K Vueltas | | 2 |
| AC. GRAV. | m/s ² | 9,8 |
| (P.ESP./μ.) ^{0,5} | m ^{-0,5} s ^{-0,5} | 3115 |
| COEF.η DE RUGOSIDAD | s.m ^{-1/3} | 0,013 |

RESULTADOS:

| RECORRIDO (m) | | | SECCION DE CANALES (m ²) | | | ANCHO DE CANALES (m) | | |
|--------------------------|-------|-------|--------------------------------------|--------|--------|--|-------|-------|
| TR1 | TR2 | TR3 | TR1 | TR2 | TR3 | TR1 | TR2 | TR3 |
| 59,7 | 58,1 | 47,8 | 0,214 | 0,265 | 0,321 | 0,244 | 0,301 | 0,365 |
| ANCHO EN LAS VUELTAS (m) | | | NUMERO DE CANALES | | | | | |
| TR1 | TR2 | TR3 | TR1 | TR2 | TR3 | | | |
| 0,365 | 0,451 | 0,548 | 10 | 10 | 8 | | | |
| LONGITUD POR TRAMO (m) | | | H _f vueltas (m) | | | PERIMETRO DE CANALES (m) | | |
| TR1 | TR2 | TR3 | TR1 | TR2 | TR3 | TR1 | TR2 | TR3 |
| 2,48 | 2,97 | 2,96 | 0,0433 | 0,0256 | 0,0140 | 2,004 | 2,061 | 2,125 |
| RADIO HIDRAULICO (m) | | | PERDIDA CARGA CANALES (m) | | | GRADIENTE DE VELOCIDAD s ⁻¹ | | |
| TR1 | TR2 | TR3 | TR1 | TR2 | TR3 | TR1 | TR2 | TR3 |
| 0,107 | 0,128 | 0,151 | 0,0088 | 0,0044 | 0,0020 | 41 | 29 | 21 |

CUADRO 8.1.2.-HOJA DE CALCULO- REDISEÑO DEL TRAMO 1 DEL FLOCULADOR HIDRAULICO A 45 lt/s.

| DATOS | Unidad | Criterios | Cálculos | Resultados | Unidad |
|--|----------|------------------------------------|------------------------------------|--|--------|
| Caudal= $Q = 0,045$ | m^3/s | $l_1 = v_1 \times TRH_1 \times 60$ | $l_1 = 0,21 \times 4,74 \times 60$ | Recorrido de canales del Tramo 1= $l_1 = 59,7$ | m. |
| Tiempo de Retención tramo 1 = $TRH_1 = 4,74$ | min. | | | | |
| Gradiente de velocidad deseado tramo 1, $G_1 = 40$ | s^{-1} | | | | |
| Velocidad en tramo 1, $v_1 = 0,21$ | m/s | | | | |
| | | $A_1 = \frac{Q}{v_1}$ | $A_1 = \frac{0,045}{0,21}$ | Sección de canales Tramo 1 = $A_1 = 0,2143$ | m. |

| | | | | |
|---|----|---|---|--|
| Altura del agua en la Unidad , $H = 0,88$ | m. | $a_1 = \frac{A_1}{H}$ | $a_1 = \frac{0,214}{0,88}$ | Ancho de canales Tramo 1 = $a_1 = 0,244$ |
| | | $d_1 = 1,5 \cdot a_1$ | $d_1 = 1,5 \times 0,244$ | Ancho de vueltas Tramo 1 = $d_1 = 0,365$ |
| Ancho del Floculador = $B = 6$ | m. | $N_1 = \frac{l_1}{B}$ | $N_1 = \frac{59,7}{6}$ | Número de canales Tramo 1 = $N_1 = 10$ |
| Espesor de las láminas corrugadas $e = 0,006$ | m. | $L_1 = (N_1 - 1) \cdot (a_1 + e) + a_1$ | $L_1 = 9 \cdot (0,244 + 0,006) + 0,244$ | Longitud del Tramo 1 = 2,484 |

CUADRO 8.1.2. (Continuación) REDISEÑO DEL FLOCULADOR HIDRAULICO DE FLUJO HORIZONTAL – TRAMO 1

| DATOS | Unidades | Criterios | Cálculos | Resultados | Unidad |
|---|--------------|---|--|--|----------|
| Coefficiente de pérdida de carga en las vueltas , K=2 | | $h_1 = k \frac{v_1^2 (N-1)}{2g}$ | $h_1 = 2 \frac{(0,21)^2 (10 - 1)}{2(9,81)}$ | Pérdida de Carga En las vueltas $h_1 = 0,0403$ | m. |
| | | $P_1 = 2H + a_1$ | $P_1 = 2(0,88) + 0,244$ | Perímetro mojado $P_1 = 2,004$ | m. |
| | | $r_1 = \frac{A_1}{P_1}$ | $r_1 = \frac{0,214}{2,004}$ | Radio Hidráulico $r_1 = 0,107$ | m. |
| Coefficiente de rugosidad , $\eta = 0,03$ | $s.m^{-1/3}$ | $h_2 = \left(\frac{\eta \cdot v_1}{r_1^{2/3}} \right)^2 \cdot l_1$ | $h_2 = \left(\frac{0,013 \cdot (0,21)}{(0,107)^{2/3}} \right)^2 \cdot 59,7$ | Pérdida de carga en canales $h_2 = 0,0088$ | m. |
| | | $h_r = h_1 + h_2$ | $h_r = 0,0403 + 0,088$ | Pérdida de carga total, tramo 1 $h_r = 0,0491$ | m. |
| | | $G_1 = \frac{\gamma}{\mu} \frac{h_r}{TRH}$ | $G_1 = 3115 \frac{0,0491}{4,74 \cdot (60)}$ | Gradiente de velocidad Tramo 1 $G_1 = 41$ | s^{-1} |

8.2. REDISEÑO DE DECANTADORES LAMINARES.

CUADRO 8.2.1 - DIMENSIONAMIENTO DE TUBERIAS SUMERGIDAS PARA DISTRIBUCION DE AGUA A CAUDAL 45 lt/s – RESUMEN.

| | | | |
|---------------------------|--------|---|------|
| CAUDAL(m ³ /s) | 0,015 | | |
| Nº TUBERIAS / DECANTADOR | 2 | COEFICIENTE θ | 0,7 |
| V.ORIFICIOS(m/s) | 0,15 | COEFICIENTE ϕ | 1,67 |
| SEPARAC.ENTRE ORIF.(m) | 0,4 | COEF. DARCY WEISBA | 0,02 |
| LONG.TUBERIA (m) | 4 | (P.ESP./ μ). ^{1/2} | 2847 |
| DIAM.TUBERIA (pulg) | 22 | LONG.entre Orificio Final e Inicial (m) | 3,8 |
| DIAM.TUBER.(m) | 0,5588 | AC.GRAV.(m/s ²) | 9,81 |

RESULTADOS:

| Caudal en Tubería (m ³ /s) | Area Total Orificios, m ² | DIAMETRO de ORIFICIO (m) | Nº ORIFIC. | SECCION TUBERIA, m ² |
|---------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|------------|---------------------------------|
| 0,009 | 0,060 | 0,09 | 9 | 0,245 |

| AREA DE ORIFICIO (m ²) | CAUDAL DE ORIFICIO (m ³ /s) | CAUDAL FINAL (m ³ /s) | VELOCIDAD FINAL (m/s) | VELOCIDAD INICIAL(m/s) |
|------------------------------------|--|----------------------------------|-----------------------|------------------------|
| 0,0066 | 0,0010 | 0,0020 | 0,0082 | 0,0367 |

| COEFICIENTE ORIF.1, β_1 | | Pérdida de Carga Orificio 1, H_{f1} (m) | | GRADIENTE de Velocidad de ORIF.1, G_1 (s ⁻¹) | | DESVIACION |
|-------------------------------|----------------------------|---|----------------------|--|---------------------|---------------------|
| 1,800 | | $2 \cdot 10^{-3}$ | | 17,08 | | 2,78% |
| Orificio Nº | Caudal (m ³ /s) | V.Tubería (m/s) | V.Tubería/ V.Lateral | β_i | $(1/\beta_i)^{1/2}$ | Veloc.Lateral (m/s) |
| 1 | 0,009 | 0,037 | 0,246 | 1,800 | 0,745 | 0,1474 |
| 2 | 0,008 | 0,033 | 0,220 | 1,779 | 0,750 | 0,1483 |
| 3 | 0,007 | 0,029 | 0,193 | 1,760 | 0,754 | 0,1491 |
| 4 | 0,006 | 0,024 | 0,160 | 1,744 | 0,757 | 0,1498 |
| 5 | 0,005 | 0,020 | 0,133 | 1,731 | 0,760 | 0,1503 |
| 6 | 0,004 | 0,016 | 0,106 | 1,720 | 0,763 | 0,1508 |
| 7 | 0,003 | 0,012 | 0,080 | 1,711 | 0,764 | 0,1512 |
| 8 | 0,002 | 0,008 | 0,053 | 1,705 | 0,766 | 0,1515 |
| 9 | 0,001 | 0,004 | 0,027 | 1,701 | 0,767 | 0,1516 |
| SUM | | | | | 6,826 | |
| | | | | | | Desviación 2,78% |

8.2.2. REDISEÑO DEL CANAL DISTRIBUIDOR DE AGUA FLOCULADA

| CUADRO 8.2.2.- REDISEÑO A 45 lt/s. - RESUMEN | | | |
|--|-------|---------------------------------|-------|
| CAUDAL(m ³ /s) | 0,045 | COEFICIENTE θ | 0,7 |
| V. COMPUERTAS.(m/s) | 0,171 | COEFICIENTE ϕ | 1,67 |
| NUMERO DECANTADORES | 3 | SUMA(1/ β_i) | 2,233 |
| LONG. CANAL (m) | 7,85 | COEF. DARCY W. | 0,015 |
| ANCHO FINAL CANAL(m) | 0,24 | (P.ESP./ μ) ^{1/2} | 2847 |
| ALTURA DEL CANAL (m) | 1,5 | AC.GRAV.(m/s ²) | 981 |
| ANCHOCOMPUERTA(m) | 0,3 | | |

RESULTADOS:

| Caudal en Cada Decantador (m ³ /s) | | Sección Final Canal, m ² | Velocidad Final en Canal o Principal | Sección Inicial Canal, m ² | Ancho Inicial del Canal, m | Sección Util Compuertas | Altura de Compuerta | Coeficiente de Orificio 1, β_i |
|---|---------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|---|---------------------------------------|--|----------------------|--------------------------------------|
| 0,015 | | 0,360 | 0,042 | 1,080 | 0,720 | 0,088 | 0.29 | 1,799 |
| Velocidad real en 1ª Compuerta, m/s | | Radio Hidráulico de Compuerta | RAIZ (1/ β_1) | Pérdida de Carga Compuerta 1, H _{f1} (m) | | Gradiente de Velocidad, Compuerta 1. G ₁ (s ⁻¹) | | |
| 0,171 | | 0,074 | 0,746 | 2,68E-03 | | 18,68 | | |
| # ORIF. | GASTO (m ³ /s) | Distanc. A Compuerta | Ancho del Canal, m. | Veloc.Canal (m/s) | V _{CANAL} /V _{LAT.} | β_i | Raiz (1/ β_i) | Vel.Lateral (m/s) |
| 1 | 0,045 | 1,225 | 0,72 | 0,042 | 0,244 | 1,799 | 0,746 | 0,171 |
| 2 | 0,030 | 3,925 | 0,48 | 0,042 | 0,244 | 1,799 | 0,746 | 0,171 |
| 3 | 0,015 | 6,625 | 0,24 | 0,042 | 0,244 | 1,799 | 0,746 | 0,171 |
| SUMA | | | | | | | 2,237 | |
| Desviación | | | | | | | | 0% |

8.2.3. REDISEÑO DE DECANTADORES.

CUADRO 8.2.3.1 – REDISEÑO A CAUDAL 45 lt/s.- RESUMEN.

DATOS

| | | | |
|---|------|----------|-----------------------------------|
| Numero de unidades | | 3 | |
| Separacion de las placas en el plano horizontal | (e') | 10 | cm |
| Espesor de las placas | ε | 1 | cm |
| Longitud del modulo de placas | (l) | 120 | cm |
| Caudal de diseño de cada decantador | (Q) | 0,015 | m ³ /s |
| Tasa de diseño | | 22 | m ³ /m ² .d |
| Velocidad de sedimentación de las partículas | (Vs) | 0,000254 | m/s |
| Tasa de decantación aparente | (qa) | 159,5 | m ³ /m ² .d |
| Modulo de eficiencia de las placas | (s) | 1 | |
| Ancho total neto de la zona de decantación | (B) | 244 | cm |
| Ancho del modulo de placas | (b) | 244 | cm |
| Viscosidad a 25 C° | (ν) | 0,012 | cm ² /s |
| Angulo de inclinación de las placas | (θ) | 60 | ° |
| Tasa de recolección | | 2,50 | l/s.m |

RESULTADOS

ZONA DE DECANTACION

| | | | |
|--|-----------------|-------|----------------|
| Espaciamiento entre placas | d | 7,6 | cm |
| Longitud util dentro de las placas | l _u | 115 | cm |
| Longitud relativa del modulo de placas | l | 15,01 | |
| Coefficiente de forma del modulo | f | 7,25 | |
| Area superficial de la unidad | A _s | 8,12 | m ² |
| Numero de canales entre las placas | N | 38 | |
| Longitud total del decantador | L _T | 3,94 | m |
| Velocidad media del flujo | V _o | 0,21 | cm/s |
| Radio hidraulico del modulo | R _H | 3,71 | cm |
| Numero de Reynolds | Re | 256 | |
| Velocidad longitudinal máxima | V' _o | 0,14 | cm/s |

ZONA DE RECOLECCION

| | | | |
|-------------------------|--|---|---|
| Longitud de Recolección | | 6 | m |
|-------------------------|--|---|---|

CUADRO 8.2.3.2 - HOJA DE CALCULO- REDISEÑO DEL DECANTADORES LAMINARES -A- CAUDAL 45lt/s

| DATOS | Unidad | Criterios | Cálculos | Resultados | Unidad |
|---|-------------------|--|---|---|----------------|
| Separación de las placas en el plano horizontal, e'= 10 | cm | $d = e' .sen\theta - e$ | $d = 10 .sen 60 - 1$ | Espaciamiento entre las placas, $d = 7,7$ | cm. |
| Espesor de las placas, e= 1cm | cm | | | | |
| Angulo de inclinación de las placas, $\theta = 60^\circ$ | | | | | |
| Longitud del módulo de Placas, $\ell=120$ | cm | $lu = l - e' .cos \theta$ | $lu = 120 - 10 .cos 60$ | Longitud útil dentro de las placas, $lu = 115$ | cm |
| Caudal de diseño del decantador= $Q = 0,015$ | m ³ /s | $l = \frac{lu}{d}$ | $l = \frac{115}{7,7}$ | Longitud relativa del módulo de placas, $l = 15,01$ | |
| Velocidad de sedimentación de las partículas = $V_{sr} = 0,000254$ | m/s. | $f = \frac{sen\theta(sen\theta + l cos\theta)}{s}$ | $f = \frac{sen60(sen60 + 15.cos60)}{1}$ | Factor de forma= $f = 7.25$ | |
| Módulo de eficiencia de las placas, $s=1$ | | $A_s = \frac{Q}{f.V_{sr}}$ | $A_s = \frac{0,015}{7,25 .(0,000254)}$ | Area superficial que cubre extremo de módulo de placas, $= A_s = 8,12$ | m ² |
| Ancho total neto de la Zona de decantación, B=2,44 | m. | $N = \frac{A_s .sen \theta}{B.d}$ | $N = \frac{8,12 .sen 60}{2,44 .(7,9)}$ | Número de canales formados por las placas $N = 38$ | |

CUADRO 8.2.3.2 (Continuación)

| DATOS | Unidades | Criterios | Cálculos | Resultados | Unidad |
|--------------------------------------|--------------------|---|--|--|-----------------------------------|
| | | $LT = l \cos \theta + \frac{Nd + (N+1)e}{\sin \theta}$ | $LT = 1,2 \cos 60 + \frac{38(0,076) + (38+1)0,01}{\sin 60}$ | Longitud Total del Decantador, 3,94 $LT = 3,94$ | m. |
| | | $V_o = \frac{Q}{A_s \cdot \sin \theta} \cdot 100$ | $V_o = \frac{0,015}{8,12 \cdot (0,866)} \cdot 100$ | Velocidad media del flujo, 0,21 | cm/s |
| Ancho del módulo de placas, b = 2,44 | m | $RH = \frac{bd}{2(b+d)}$ | $RH = \frac{244 \cdot (7,7)}{2 \cdot (244 + 7,7)}$ | Radio Hidráulico del módulo de placas, 3,71 | cm |
| Viscosidad a 12°C $\nu = 0,012$ | cm ² /s | $Re = \frac{4RH(V_o)}{\nu}$ | $Re = \frac{4(3,71) \cdot (0,21)}{(0,012)}$ | Número de Reynolds=256 | |
| | | $V_o' = \left(\frac{Re}{8}\right)^{0,5} V_o$ | $V_o' = \left(\frac{256}{8}\right)^{0,5} \cdot (0,000254) \cdot 100$ | Velocidad Longitudinal Máxima. $h_{c, \text{max}} = \frac{V_o'^2}{2g} \cdot \beta$ | cm/s. |
| | | $q_a = \text{tasa. disen} \cdot (f)$ | $q_a = 22 (7,95)$ | Tasa de decantación aparente. $q_a = 159,5$ | m ³ /m ² .d |
| $l = 1,2$ | m. | $A_{S, UNID} = A_s + (l \cos \theta) \cdot B$ | $A_{S, UNID} = 8,12 + (1,2 \cdot \cos 60) \cdot 2,44$ | Area Superficial de la Unidad = 9.60 | m ² |
| Tasa de Recolección = 2,50 | lt/m.s | $L_{RECOLECCION} = \frac{Q \cdot 1000}{\text{tasa.recolecc}}$ | $L_{RECOLECCION} = \frac{0,015 \cdot (1000)}{2,50}$ | Longitud de Recolección= 6 | m. |

8.3. REDISEÑO DE FILTROS RAPIDOS DE TASA DECLINANTE Y LAVADO MÚTUO

CUADRO 8.3.1.. - OPTIMIZACION a 45lt/s - RESUMEN

DATOS:

| | | | | | | | | |
|----------------------|-------|-----------------------------------|---------------------|-------|--------------------|-------------------------------------|--------|-------------------|
| Q. DISEÑO | 0,045 | m ³ /s | ANCHO FILTRO | 1,4 | m | K DRENAJE | 1 | |
| VELOC.LAVADO | 1,07 | m/min | ANCHO VIGUETAS | 0,3 | m | VELOC.CMPTA.ENT. | 0,35 | m/s |
| VELOC.FILTRACION | 257,0 | m ³ /m ² .d | DIST. ENTRE ORIFIC. | 0,1 | m | VEL.CMPTA.LAVAD. | 0,4 | m/s |
| MEDIO FILTRANTE | ARENA | | L.UNID.Y VIGUETAS | 1,8 | | LONGITUD.CRESTA VERTEDERO SALID. | 0,4 | m. |
| TAMANO EFECTIVO | 0,673 | mm. | DIAMETRO ORIFICIO | 1 | Pulg. | | | |
| C.U.COE.F.UNIF ARENA | 1,47 | | Cd ORIFICIOS | 0,65 | | DENSIDAD ARENA | 2650 | Kg/m ³ |
| # CANALETAS LAVAD | 2 | | ACELER.GRAVEDAD | 9,81 | m/s ² | DENSIDAD AGUA | 998,52 | Kg/m ³ |
| ALT.UTIL CANALETA | 0,22 | m. | ALTURA FALSO FDO | 0,5 | m. | | | |
| H.TOT.CANALETA LAV | 0,4 | m | K FALSO FONDO | 1 | | COEF.ESFERICIDAD (Ce)ARENA | 0,8 | |
| H.FALSO FONDO | 0,5 | m | VELOCID.CMPTA.SAL. | 0,4 | m/s. | | | |
| H.DREN+GRAVA | 0,57 | m | L.CANAL.LAVADO | 1,8 | m | POROSIDAD ARENA | 0,42 | |
| H.LECHO FILT.ARENA | 0,8 | m | VISCOS.DINAMICA | 0,001 | N.s/m ² | | | |
| | | | VISCOS.CINEMATICA | 1E-06 | m ² /s | | | |

| | | | | | |
|---|---|--|--|---|--|
| AREA DE UN FILTRO (m ²) 2,52 | AREA TOTAL FILTROS(m ²) 15,13 | # DE FILTROS 6 | POROSID.PROMEDIO ARENA EXPANDIDA 0,60 | % EXPANSION ARENA 44 | |
| ALTURA MIN CANALETA SOBRE ARENA 0,753 | ALTURA LECHO FILTRANTE EXPANDIDO (m) 1,15 | CAUDAL CADA CANALETA (m ³ /min) 1,755 | ANCHO CANALETA(m) 0,206 | ALTURA DESDE VERTEDERO DE CANALETA HASTA FONDO FILTRO, m 2,62 | |
| H _{fi} ARENA DURANTE LAVADO(m) 0,766 | # VIGUETAS DRENAJE 5 | NUMERO DE ORIFICIOS./ VIGUETA 36 | # ORIFICIOS DRENAJE 168 | CAUDAL LAVADO< ORIFICIO, m ³ /s. 2,68 E-04 | |
| AREA ORIFICIO DRENAJE, m ² 5,06. E-04 | Hf ₂ ORIFICIO DRENAJE (m) 0,034 | SECC. TRANSV. FALSO FDO,m ² 0,90 | Hf ₃ FALSO FONDO RETROL.AVADO (m) 1,27E-04 | COMPUERTA DE. SALIDA, Hf ₄ RETROLAVADO (m) 8,15E-03 | Hf ₅ , ALTURA DE AGUA SOBRE CANALETA DE RECOLECCION (m) 4,27 E-02 |
| Hf TOTAL RETROLAVADO (m) 0,851 | H,VERTEDERO QUE CONTROLA LAVADO(m) 3,47 | Hfi ₁ ,PERD.CARGA INICIAL ARENA FUNC(V _{FILT}), m. 1,31E-03 . V _F | CAUDAL EN ORIFICIO DE DRENAJE, q _{ORIF} FUNC(V _F), m ³ /s 1,74.E-07. V _F | Hfi ₃ ,PERDIDA CARGA ORIFIC. DRENAJE EN FUNC. (V _F).m 1,42.E-08.V _F ² | VELOC. EN FALSO FONDO EN FUNC. (V _F), m 3,245.E-05 V _F |

| Hfi ₄ , PERDIDA CARGA FALSO FONDO EN FUNC.(V _F), m | SECCION CMPTA. ENTRADA, m ² | Hfi ₅ , PERDIDA CPTA. ENTRAD A, m | SECCION CMPTA. SALIDA, m ² | Hfi ₆ , PERDIDA CARGA CMPTA .SALIDA, m | ALTURA DE AGUA, Hfi ₇ , SOBRE VERTEDERO DE SALIDA |
|---|--|--|---------------------------------------|---|--|
| 5,37.E-11. V _F ² | 0,0278 | 5,59E-08. V _F ² | 0,0244 | 7,31.E-08. V _F ² | 3,84. E-03 V _F ^{2/3} |

CALCULOS PARA LA EXPANSIÓN DEL MEDIO FILTRANTE DURANTE LAVADO:

Medio Filtrante Simple: Arena.

Coefficiente de Esfericidad = 0,8

| Di MIN mm | Di MAX mm | Diámetro Equiv. mm | Ga | Re MODIFICADO | ε _i | x _i | x _i /(1-ε _i) | x _i /(D _{EQUIV.i}) ² |
|-----------|-----------|--------------------|-------|---------------|----------------|----------------|-------------------------------------|--|
| 1,19 | 1,41 | 1,295 | 35160 | 23 | 0,49 | 0,138 | 0,271 | 82245,66 |
| 1 | 1,19 | 1,091 | 21000 | 19 | 0,53 | 0,244 | 0,519 | 205042,02 |
| 0,84 | 1 | 0,917 | 12454 | 16 | 0,57 | 0,296 | 0,693 | 354761,9 |
| 0,71 | 0,84 | 0,772 | 7451 | 14 | 0,67 | 0,198 | 0,600 | 331991,95 |
| 0,59 | 0,71 | 0,647 | 4386 | 12 | 0,69 | 0,085 | 0,274 | 202912,39 |
| 0,5 | 0,59 | 0,543 | 2592 | 10 | 0,71 | 0,037 | 0,128 | 125423,73 |

$$\Sigma(x_i/(1-\epsilon_i)) = 2,485$$

$$\Sigma(x_i/(D_{EQUIV.i})^2) = 1302377,66$$

PÉRDIDA DE CARGA SIN RETENCIÓN DE IMPUREZAS, H_T

$$H_T = 1,31.(E03)(V_F) + 1,47.(E-07)(V_F)^2 + 3,84.(E-03).(V_F)^3$$

$$V_F, \text{ en. } m^3 / m^2 \text{ día.}$$

CUADRO 8.3.2. CUADRO HOJA DE CALCULO – BATERIA DE FILTROS DE LAVADO MUTUO – CAUDAL 45 lt / s.

| DATOS | Unidades | Criterios | Cálculos | Resultados | Unidad |
|---|-------------------------------------|---|--|---|----------------|
| Q = 0,045 | m ³ /s | $A_F = \frac{Q}{V_{LAV}}$ | $A_F = \frac{0,045}{1,07} \cdot 60$ | Area de cada Filtro = 2,52 | m ² |
| Velocidad Ascensional de Lavado, V _{LAV} =1,07 | m/min | | | | |
| Velocidad de FILTRACION promedio, V _F =257 | m ³ /m ² .Día | $A_T = \frac{Q}{V_F}$ | $A_T = \frac{0,0045}{257} \cdot 86400$ | Area Total Filtrante 15,13 | m ² |
| | | $N = \frac{A_T}{A_F}$ | $N = \frac{15,13}{2,52}$ | Número de Filtros = 6 | |
| Tamaño Efectivo de arena =0,67 | mm | $D_{EQUIV} = \sqrt[3]{d_1 \cdot d_2}$ | $D_{EQUIV} = \sqrt[3]{(0,84) \cdot 1,00}$ | Diámetro equivalente de la arena más fina $D_{EQUIV} = 0,9165$ | m |
| Capa arena intermedia diám mas fino, d ₁ =0,84 | mm | | | | |
| Capa arena intermedia, diám mas grueso, d ₂ =1 | mm | | | | |
| Densidad agua ρ _a =988,52 | Kg/m ³ | $Ga = \frac{D_{EQUIV}^3 \rho_a (\rho_s - \rho_a)}{\mu^2} g$ | $Ga = \frac{(0,0009165)^3 (2650 - 998,65) 9,81 (998,65)}{(0,001)^2}$ | Número de Galileo para la capa de arena más fina = | |
| Densidad arena ρ _s =2650 | Kg/m ³ | | | | |
| Viscosidad dinám. Agua, μ=1.10 ⁻³ | Kg.s/m ² | | | | |
| g = 9,8 | m/s | | | | |
| | | | | $Ga = 12454$ | |

CUADRO 8.3.2. CUADRO HOJA DE CALCULO –Continuación .

| DATOS | Unidades | Criterios | Cálculos | Resultados | Unidad |
|--|----------|---|--|--|---------------------|
| | | $Re = \frac{V_a \cdot D_{EQUIV} \rho_a}{\mu}$ | $Re = \frac{(1,07)9,165 \cdot 10^{-4}}{60 \cdot 10^{-3}} = 998,65$ | Re=23,06 | |
| Coeficiente de Esfericidad, Ce=0,8 | | Del Abaco en función de Ce, Re, Ga, se obtuvo, ϵ_1 | | $\epsilon_1 = 0,49$ | |
| Del Cuadro , $\sum_i \left(\frac{x_i}{1-\epsilon_i} \right) = 2,485$ | | $\epsilon_e = 1 - \frac{1}{\sum_i \left(\frac{x_i}{1-\epsilon_i} \right)}$ | $\epsilon_e = 1 - \frac{1}{2,485}$ | Porosidad promedio de capa de arena expandida, $\epsilon_e = 0,60$ | |
| Porosidad de la arena limpia, $\epsilon_o = 0,42$ | | $E = \frac{\epsilon_e - \epsilon_o}{1 - \epsilon_e}$ | $E = \frac{0,60 - 0,42}{1 - 0,60} \cdot 100$ | Porcentaje de expansion promedio de arena, 44 % | |
| Espesor de capa de Arena =L=0,8 | m. | $L_e = L(1 + E)$ | $Le = 0,8(1 + 0,44)$ | $Le = 1,153$ | |
| # Canaletas de recolección de agua lavado, $N_L = 2$ | | $Q_{CANITLAV} = 1,3 Q_{N_L}$ | $Q_{CANAL} = 1,3 \left(\frac{0,045}{2} \right) 60$ | $Q_{CANLTA} = 1,755$ | m ³ /min |
| Altura útil de la Canaleta de lavado, $h_{CNLTA} = 0,22$ | m | $W = \frac{Q_{CANITLAV}}{82,5 \cdot h_{CNLTA}^{3/2}}$ | $W = \frac{1,755}{82,5(0,22)^{3/2}}$ | Ancho de la Canaleta de lavado= 0,206 | m. |
| | | $P = 1,4h_{cnlta} + 0,10$ | $P = 1,4(0,22) + 0,10$ | Altura total Canaleta=0.40 | m. |

CUADRO 8.3.2. CUADRO HOJA DE CALCULO –Continuación.

| DATOS | Unidades | Criterios | Cálculos | Resultados | Unidad |
|---|----------|--|--|--|-------------------|
| | | $H_4 = p + (E).(H)$ | $H_4 = 0,4 + 0,40.(0,8)$ | Altura min. de Canaleta sobre arena=0,753 | m. |
| Altura Falso Fondo, $H_1=0,5$ | m | $H_c = H_1 + H_2 + H_3 + H_4$ | $H_c = 0,5 + 0,57 + 0,8 + 0,753$ | Altura desde el vertedero de la canaleta hasta el fondo de la caja de Filtro= 2,62 | m. |
| Altura Drenaje más Grava, $H_2=0,57$ | m | | | | |
| Altura del lecho filtrante, $H_3= 0,80$ | m | | | | |
| | | $hf_1 = (1 - \varepsilon_o)(\rho_s - \rho_o)L$ | $hf_1 = (1 - 0,42).(2,65 - 0,998).0,8$ | Pérdida de carga arena en lavado $hf_1 = 0.766$ | m. |
| Ancho de cada Filtro, $B= 1,4$ | m. | $N_1 = \frac{B}{b}$ | $N_1 = \frac{1,4}{0,3}$ | # de viguetas de drenaje= 05 | |
| Ancho de cada Vigueta, $b= 0,3$ | m. | | | | |
| Espaciamiento entre Orificios, $X=0,1$ | m | $N_2 = \frac{2c}{X}$ | $N_2 = \frac{2}{0,1} (1,8)$ | # de orificios por vigueta= 36 | |
| Longitud de cada Vigueta, $c=1,8$ | m. | | | | |
| | | $N_r = N_1.N_2$ | $N_r = \frac{1,4}{0,3} .(36)$ | # Total de orificios=168 | |
| | | $q_o = \frac{Q}{N_r}$ | $q_o = \frac{0,045}{168}$ | Caudal de lavado por orificio $q_o = 2,68 \cdot 10^{-4}$ | m ³ /s |

CUADRO 8.3.2. CUADRO HOJA DE CALCULO –Continuación .

| DATOS | Unidades | Criterios | Cálculos | Resultados | Unidad |
|---|----------|--------------------------------------|---|---|----------------|
| Diámetro de Orificio de Drenaje= $d_o=0,0254$ | m | $A_o = \frac{\pi \cdot d_o^2}{4}$ | $A_o = \frac{3,1416 \cdot (0,0254)^2}{4}$ | Area de orificios de drenaje = $A_o = 5,06 \cdot 10^{-4}$ | m ² |
| Coefficiente de Descarga De Orificio, Cd=0,65 | | $hf_2 = \frac{q_o^2}{2g(C_d A_o)^2}$ | $hf_2 = \frac{(2,68 \cdot 10^{-4})^2}{2 \cdot (9,81)(0,65 \cdot (5,06 \cdot 10^{-4}))^2}$ | Pérdida de Carga en orificios de drenaje =0,0338 | m |
| | | $A_{FF} = H_1 \cdot c$ | $A_{FF} = 0,5(1,8)$ | Sección transversal del Falso Fondo= $A_{FF} = 0,9$ | m ² |
| | | $V_{FF} = \frac{Q}{A_{FF}}$ | $V_{FF} = \frac{0,045}{0,9}$ | Velocidad en Falso Fondo durante lavado =0,05 | m/s |
| K=1 | | $hf_3 = \frac{K \cdot V_{FF}^2}{2g}$ | $hf_3 = \frac{(0,05)^2}{19,6} \cdot 1$ | Pérdida Carga en Falso Fondo durante lavado= $hf_3 = 1,27 \cdot 10^{-4}$ | m. |

CUADRO 8.3.2. -CUADRO HOJA DE CALCULO –Continuación .

| DATOS | Unidades | Criterios | Cálculos | Resultados | Unidad |
|---|----------|---|---|---|--------|
| Velocidad en la Compuerta de Salida Retrolavado, $V_C=0,40$ | m/s. | $hf_4 = \frac{K \cdot V_C^2}{2g}$ | $hf_4 = 1 \cdot \frac{(0,4)^2}{19,6}$ | Pérdida de Carga en la compuerta de salida durante retrolavado= $8,16 \cdot 10^{-3}$ | m. |
| l = Longitud de Cresta del vertedero de lavado = 2 (1,8) | m. | $hf_5 = \left(\frac{1,3 \cdot Q}{1,84 \cdot l} \right)^{2,3}$ | $hf_5 = \left(\frac{(1,3) \cdot 0,045}{1,84 \cdot (2) \cdot 1,8} \right)^{2,3}$ | Altura agua sobre canaleta recolección.= $hf_5 = 0,0427$ | m. |
| | | $hf_{LAVADO} = hf_1 + hf_2 + hf_3 + hf_4 + hf_5$ | $hf_{LAVADO} = 0,766 + 0,0338 + 0,000127 + 0,00816 + 0,0427$ | Pérdida de carga durante lavado 0,8509 | m. |
| | | $H_V = H_C + hf_{LAVADO}$ | $H_V = 2,577 + 0,8509$ Altura del vertedero que controla la hidráulica de lavado= $H_V = 3,428$ | | m. |
| | | $H_{f_{i,1}} = \frac{180 \cdot v}{g} \frac{(1 - \epsilon_o)^2}{\epsilon_o^3} \frac{1}{C_e^2} \sum_i \left(\frac{x_i}{D_{EQU,1}^2} \right) L \cdot V_F$ | $H_{f_{i,1}} = \frac{(1 - 0,42)^2}{(0,42)^3} \frac{150}{(0,8)^2 (9,81)} \frac{(0,8) \cdot 10^{-6}}{86400} (1302377,6) \cdot V_F$ $H_{f_{i,1}} = 1,3 \cdot 10^{-3} V_F$ | | m. |
| | | | | Pérdida de Carga Inicial en capa de arena en función de velocidad de filtración | |

CUADRO 8.3.2. -CUADRO HOJA DE CALCULO -Continuación .

| DATOS | Unidades | Criterios | Cálculos | Resultados | Unidad |
|--|----------|--|---|---|-------------------|
| K=1 | | $q_o = \frac{V_F A_F}{86400 N_T}$ | $q_o = 1,736 \cdot 10^{-7} \cdot V_F$ Caudal por orificio de drenaje durante filtración, en función de Veloc.Filtración, V_F | | m ³ /s |
| | | $H_{f,i,3} = \frac{q_o^2}{2C_D^2 \cdot A_o^2 \cdot g}$ | $H_{f,i,3} = \frac{(1,736 \cdot 10^{-7})^2 V_F^2}{2 \cdot (5,06 \cdot 10^{-4})^2 \cdot 9,8(0,65)^2}$ $H_{f,i,3} = 1,42 \cdot 10^{-8} V_F^2$ Pérdida Carga en Orificios de Drenaje | | m. |
| | | $V_{FF} = \frac{A_F V_F}{86400 A_{FF}}$ | $V_{FF} = \frac{2,52}{86400(0,9)} V_F$ | Velocidad en Falso Fondo $V_{FF} = 3,24 \cdot 10^{-5} V_F$ | m/s |
| | | $H_{f,i,4} = \frac{K \cdot V_{FF}^2}{2g}$ | $H_{f,i,4} = 1 \cdot \frac{(3,24 \cdot 10^{-5})^2}{2(9,81)} V_F^2$ $H_{f,i,4} = 5,35 \cdot 10^{-11} V_F^2$ Pérdida Carga en Falso Fondo durante filtración | | m |
| Veloc. en la Comp.Entrada $V_{Cing} = 0,35$ | m/s. | $A_{Cing} = \frac{1,3Q}{N \cdot V_{Cing}}$ | $A_{C_{ENTRADA}} = \frac{1,3(0,045)}{6(0,35)}$ Sección Compuerta Entrada, $A_{C_{ENTRADA}} = 0,02785$ | | m ² |

| CUADRO 8.3.2. - CUADRO HOJA DE CALCULO –Continuación – | | | | | |
|--|----------|---|--|---|-------------------|
| DATOS | Unidades | Criterios | Cálculos | Resultados | Unidad |
| K=1 | | $H_{f,i,5} = \frac{K.(A_F V_F)^2}{2gA_c^2}$ | $Hf_{i,5} = \left(\frac{2,52}{0,028.(86400)} \right)^2 \frac{V_F^2}{2.(9,81)}$ Pérdida de Carga en Compuerta de Entrada $Hf_{i,5} = 5,59.10^{-8} V_F^2$ | | m |
| | | $q_c = \frac{Q}{N}$ | $q_c = \frac{0,045}{6} = 7,5.10^{-3}$ Caudal en cada Compuerta salida= $7,5.10^{-3}$ | | m ³ /s |
| Veloc. en la Compuerta Salida $V_{cs} = 0,4$ | m/s | $A_{cs} = \frac{1,3q_c}{V_c}$ | $A_{c,SALIDA} = \frac{1,3.(7,5.10^{-3})}{0,40}$ | Sección de la Compuerta de Salida=0,0244 | m ² |
| | | $V_{cs} = \frac{A_F V_F}{86400 A_{cs}}$ | $V_{c,SALIDA} = \frac{2,52 V_F}{86400(0,0244)}$ | Velocidad en Compuerta de Salida $V_{c,SALIDA} = 1,2.10^3 V_F$ | m/s |
| K=1 | | $H_{f,i,6} = \frac{K.V_{cs}^2}{2g}$ | $Hf_{i,6} = 1. \frac{(1,2.10^{-3})^2}{19,6} V_F^2$ | Pérdida Carga en Compuerta de Salida $7,31.10^{-8} V_F^2$ | m. |

CUADRO 8.3.2. -CUADRO HOJA DE CALCULO –Continuación –

| DATOS | Unidades | Criterios | Cálculos | Resultados | Unidad |
|---|----------|---|---|------------|--------|
| Long.Cresta Vertedero Salida, L=0,4 | M | $H_{f,i,7} = \left(\frac{A_T V_F}{1,84(86400)L_{VERTSAL}} \right)^2$ | $H_{f,i,7} = \left(\frac{15,13V_F}{1,84.(0,8).86400} \right)^{2/3}$ $H_{f,i,7} = 3,84.10^{-3} V_F^{0,67}$ <p>Altura de agua en vertedero de salida en Función de Velocidad de Filtración, V_F</p> | | m. |
| $V_F = \text{Tasade.filtración, en.} m^3 / m^2 .\text{día}$ $H_T = \text{Pérdida de carga total. sin considerar retención de impurezas}$ en el medio filtrante, en función de V_F | | | $H_T = H_{f,i,1} + H_{f,i,3} + H_{f,i,4} + H_{f,i,5}$ $+ H_{f,i,7}$ $H_T = 1,31.10^{-3} V_F + 1,43.10^{-7} V_F^2 + 3,84.10^{-3} V_F^{0,67}$ | | m |

Cuadro 8.3.3. - FILTROS DE TASA DECLINANTE Y LAVADO MUTUO - OPTIMIZACION a 45lt/s – TASAS DE FILTRACION Y PERDIDAS DE CARGA POR RETENCION DE IMPUREZAS DURANTE UNA CORRIDA DE FILTRACION (*).

| TASAS DE FILTRACION ($m^3 / m^2 \cdot día$) | PERDIDAS DE CARGA POR RETENCION DE IMPUREZAS, m . | RESISTIVIDAD |
|--|---|---------------------|
| $V_{Fmáx} = 390,07$ | $h_o = 0,112$ | $k_o = 0,00029$ |
| $V_{Fa} = 324,04$ | $h_a = 0,093$ | $k_a = 0,00063$ |
| $V_{Fb} = 268,73$ | $h_b = 0,170$ | $k_b = 0,00105$ |
| $V_{Fc} = 222,77$ | $h_c = 0,223$ | $k_c = 0,00156$ |
| $V_{Fd} = 184,19$ | $h_d = 0,286$ | $k_d = 0,00217$ |
| $V_{Fmín} = 152,33$ | $h_e = 0,329$ | $k_{máx} = 0,00290$ |

$$\text{Factor } F = \frac{V_{F, máx}}{V_{F, med}}$$

$V_{F, M}$ = Tasa de filtración en un filtro limpio durante el lavado de otro de la batería de seis filtros.

$$V_{F, M} = \left(\frac{V_{F, máx}}{5} \right)^6$$

(*) Procedimiento de cálculo descrito en págs. 57 y 58.

Cuadro 8.3.4. - FILTROS DE TASA DECLINANTE Y LAVADO MUTUO - OPTIMIZACION a 45lt/s- NIVELES DE OPERACIÓN (*)

| | |
|--------------------------|------------------------|
| $V_{F, M}$ | $468,41m^3 / m^2 .día$ |
| V_{Fmedic} | $257m^3 / m^2 .día$ |
| F | 1,51 |
| NIVEL N_1 , (m) | 0,687 |
| NIVEL N_2 , (m) | 0,800 |
| $h_o = N_2 - N_1$ (m) | 0,112 |

NIVEL DURANTE LAVADO:

| | |
|-------------|-------|
| N_3 , (m) | 0,872 |
|-------------|-------|

$H_{T, máx}$ = PERDIDA DE CARGA MAXIMA SIN RETENCION DE IMPUREZAS.

$$H_{T, máx} = N_1$$

$H_{CAJAFILTRO}$ = PROFUNDIDAD DE LA CAJA DE FILTROS

H_V = ALTURA DEL VERTEDERO QUE CONTROLA EL LAVADO.

$$H_{CAJAFILTRO} = H_{T, máx} + h_o + H_V + 0,2 = N_1 + h_o + H_V + 0,2$$

$$H_{CAJAFILTRO} = N_2 + H_V + 0,2$$

$$H_{CAJAFILTRO} = 0,8 + 3,47 + 0,2 = 4,47m$$

$$H_{CAJAFILTRO} = 4,47m .$$

(*) Procedimiento de cálculo descrito en págs. 57 y 58

CUADRO 8.3.5. REDISEÑO: DIMENSIONES A CAMBIAR EN FILTROS Y CARACTERISTICAS DE EXPANSION DE ARENA DURANTE LAVADO.

| Caudal Q diseño m^3/s | Altura desde el vertedero de canaleta de lavado hasta fondo de caja de filtro, m. | Altura vertedero de control de lavado, H_V , m. | Profundidad de Caja de filtro. $H_{CAJAFILTRO}$, m. | V_{LAVADO} m/min | % de expansion promedio de arena, |
|------------------------------|---|---|--|-----------------------|-----------------------------------|
| 0,045 | 2,62 | 3,43 | 4,47. | 1,07 | 44 % |
| 0,035 | 2,41 | 3,24 | 4,07. | 0,83 | 22% |

CUADRO 8.3.6. DIMENSIONES ACTUALES DE FILTROS Y CARACTERISTICAS DE EXPANSION DE ARENA DURANTE LAVADO.

| Altura desde el vertedero de la canaleta hasta el fondo de la caja de Filtro. (Ver Fig. A-3) | Altura actual vertedero de control de lavado, H_V , m. | $H_{CAJAFILTRO}$, m (Ver Fig. A-3) | % de expansion promedio de arena en filtro que presenta mayor espesor de arena (Ver Cuadro 7.4.7) |
|--|--|--|--|
| 2,70 | No se tiene la medida actual | 4,10 | 18% |

8.4. REDISEÑO-RECOPIACION.

8.4.1. REDISEÑO DEL FLOCULADOR:

- El rediseño del floculador contempla la flexibilidad en el sistema según como varíe el caudal de planta en diferentes épocas del año. En las TABLAS, 1-6 (pág.94) se muestran el resumen del rediseño para dos diferentes caudales. (Ver en Anexo CUADRO A-9).
- Se contempla mantener las dimensiones actuales y ancho de los tanques del diseño original, con la corrección de la profundidad e inclinación del primer tanque (más pronunciada según el diseño original), de modo que el ángulo sea el mismo en los tres tramos.
- Se disminuye el número de pantallas de asbesto cemento de 6 mm de espesor aumentando el ancho de los canales. Así se disminuye la velocidad en los tres tramos y se evita la destrucción de las pantallas, a la vez que se mantienen los gradientes de velocidad óptimos 40, 30 y 20 s⁻¹, respectivamente, y los tiempos de residencia de 4,8 min, 5,7 min, 5,7min, respectivamente, para un caudal de 45lt/s. (ver CUADRO 7.2.2 y CUADRO 7.2.3/ ver TABLAS 1-6 , pág.94 /ver CUADRO A-9).
- La operación de éstos floculadores será eficiente siempre que se rediseñe el dispositivo de mezcla rápida en el canal de aducción.

8.4.2. REDISEÑO DE DECANTADORES:

- En éste proyecto se mantiene las dimensiones de los tanques decantadores actuales pero se modifica el número de canales y se modifican los dispositivos de entrada y distribución agua decantada.
- Se aumenta el número de placas a 39 A.C. espaciadas a 10cm en vista de planta. A un caudal de diseño de 45 lt/s, la tasa de decantación sería 22 m³/m².DIA, con factor de forma 7,25, y tasa de decantación aparente de 159,5 m³/m².DIA. En correspondencia el % de remoción de turbiedad teórico sería de 99,5% (ver CUADRO 7.3.4).
- Si el caudal es menor al de diseño de 45 lt/s, siendo el área superficial y el factor de forma (geometría de zona decantación) mantenidos, la velocidad de sedimentación de la partícula, V_{SC} disminuye ($A_s = \frac{Q}{f \cdot V_{SC}}$), y aumenta teóricamente el % de remoción de turbiedad por encima de 99,5%, (ver CUADRO 7.3.4).
- Para cualquier caudal de planta, el número de Reynolds sería menor que en el actual diseño (ver en anexo CUADRO A-1), disminuyendo el riesgo de resuspensión de los lodos del fondo del decantador.

- Las dos tuberías (ver CUADRO 8.21-Resúmen, ver hoja de cálculo en anexo: CUADRO A-2) de PVC distribuidoras de agua floculada, de 22 pulgadas de diámetro, con 9 orificios cada una, sumergidas se extenderían desde el fondo de la caja de ingreso de cada unidad hasta el extremo opuesto, a lo largo del decantador. Esto aseguran una distribución más uniforme, disminuyendo el riesgo de espacios muertos, acercando el valor de tiempo de residencia real al valor teórico, homogenizan la remoción de turbiedad en los 3 decantadores.
- La caja de ingreso a cada unidad se construye cerrando el espacio (de 75 cm) entre la pantalla deflectora actual de cada unidad y el nuevo canal distribuidor de agua floculada.
- El canal distribuidor de agua floculada del proyecto es de alto 1,24m. y ancho variable (inicio 0,72 m., ancho final 0,24 m.). (ver CUADRO 8.22, ver hoja de cálculo en anexo, CUADRO A-3).

8.4.3. REDISEÑO DE FILTROS RAPIDOS DE TASA DECLINANTE Y LAVADO MUTUO.

- El rediseño de los filtros contempla usar como material filtrante arena con tamaño efectivo(TE) 0,673 m. y coeficiente de uniformidad (CU) 1,47. La arena elegida para el rediseño es de tamaño efectivo (TE) cercano al promedio actual de los lechos filtrantes, y de coeficiente de uniformidad similar al promedio actual del coeficiente de uniformidad en los seis lechos filtrantes.
- El rediseño de los filtros contempla según como varíe el caudal de la planta en diferentes temporadas
 - 1) La regulación del nivel del Vertedero de Control de lavado, H_V (ver CUADRO 8.3.5).
 - 2) La regulación de los niveles de los Vertederos de recolección de agua de lavado (ver CUADRO 8.3.5) , ver CUADRO A-4).
 - 3) La regulación de la profundidad de la caja de filtros, $H_{CAJAFILTRO}$, mediante la variación del nivel del vertedero desfogue de la caja de filtro (ver CUADRO 8.3.5, ver CUADRO A-4 / ver FOTO-5A).
- El % de expansión de rediseño de la arena durante lavado se encuentra dentro del rango recomendado (20 a 50 %).
- La altura actual desde el vertedero de la canaleta hasta el fondo de la caja de filtro es mayor que en el proyecto de rediseño tanto a 45 lt/s como a 35 lt/s. Esto explica la aparición de grandes bolas de lodo (Reporte Taller CEPIS 23/05/2001) en el medio filtrante, por lavado insuficiente, en épocas de alta turbiedad.

9. CONCLUSIONES:

- En el presente trabajo, analizando la información de un estudio de campo con trazadores, a través de las técnicas de estímulo-respuesta, se han determinado los tiempos de residencia medio y la intensidad de dispersión por medio del número de dispersión axial en las unidades de floculación y decantación. Este método ha mostrado ser bastante satisfactorio para el estudio desarrollado y el diagnóstico de la evaluación con trazadores sobre los patrones de flujo es congruente con las deficiencias encontradas en los diseños de las unidades.
- La Planta 2 opera a un caudal promedio de 35 lt/s en condiciones aceptables en épocas de baja turbiedad.
- El nuevo patrón de comportamiento del ciclo hidrológico (ver anexo data Histórica) es la explicación al descenso de la turbiedad del agua captada en el último año, épocas de avenida de menor intensidad de lluvias y huaycos.
- Los niveles promedios de NTU de agua filtrada son de alrededor de 0,7 NTU desde hace más o menos dos años (ver anexo: data histórica) superan el valor recomendado por la EPA de USA (0,3 NTU).
- Los problemas de lavado insuficiente que se mostraron críticas en años anteriores se pueden agudizar cuando nuevamente el ciclo hidrológico regrese a las condiciones anteriores, si es que no se proyecta el rediseño de los filtros.
- El cálculo de rediseño de los filtros arroja valores de niveles de vertedero de agua de lavado menores que los actuales, habiéndose establecido como parámetros especificaciones de la arena con coeficiente de uniformidad y tamaño efectivo similares a los promedios actuales.
- Se formula el diseño flexible del floculador, como de los filtros rápidos de tasa declinante y lavado mútuo para caudales de 45 lt/s y 35 lt/s.
- El diseño flexible a varios caudales puede ser aplicado a los decantadores laminares pero no al canal de distribución de agua floculada a los decantadores ni para las tuberías de distribución sumergidas en los decantadores.
- Se recomienda la inspección del falso fondo de los filtros y todo el sistema de recolección de agua filtrada, y reparación correspondiente.
- Se propone rediseñar el sistema de mezcla rápida de coagulante actual en el canal de aducción paralelo a floculadores.
- Se recomienda la reparación o el cambio del dosificador de orificio y carga constante (rango de 0 -1000 litros/hora).
- Se recomienda cambiar la tubería averiada en el punto cercano al de dosificación de agua clorada. Colocar cadenas de sujeción a los cilindros de la estación de cloración. Dotar del equipo de seguridad ante probables fugas de gas, al personal de la planta.
- Se recomienda realizar ensayos continuos durante un ciclo hidrológico para determinación de la dosificación adecuada del coagulante.
- Se recomienda hacer registro diario por turnos del caudal de ingreso a la planta. Continuar con el monitoreo permanente de calidad del agua en la planta de tratamiento.

- Se recomienda cumplir rigurosamente el programa de lavados de la batería de filtros para mantener la tasa declinante.
- Se recomienda independizar las cajas de los filtros.
- Se recomienda al cabo de la remodelación de la batería de filtros, evaluar los filtros en condiciones límites de filtración directa, en épocas de muy baja turbiedad. Para lo cual, construir un canal de conexión de desde el canal de mezcla rápida directamente a filtros.

BIBLIOGRAFÍA.

1. Theoretical Study of High Rate Sedimentation- YAO – Journal of Water Pollution Control Fed., 42 , pág. 218-228 Feb. 1970.
2. Proyecto de Sistemas de Filtración para Tratamiento de Aguas de Abastecimiento .-Prof. Luis Di Bernardo-Brasil.
3. Aplicación de Trazadores a Filtros Anaerobios para Evaluación de Características Hidrodinámicas – María Roça D./Herminio N.de Souza/ Cicero Onofre de Andrade. Campus Universitario Núcleo Tecnológico- Dpto.de Ingeniería Química- Lab. De Ing.Ambiental., Natal-RN-Brasil (2002).
4. Selección de Trazadores para Determinación de Régimenes Hidráulicos en Reactores. Aldana G.J.Bracho, Herrera L. (1995) XVIII Congreso Brasileiro de Ingeniería Ambiental , Salvador (BA) Brasil.
5. Auditoría de Procesos en la Depuración de Aguas. D. Nolasco/J.P. Stephenson/ Hydromantis Inc. Canada (2001).
6. Pruebas de Trazadores para Calibración de Medidores y Estudios de Dispersión- en “Evaluación de Lagunas de Estabilización” CEPIS- Julio 1994.
7. Ingeniería de Reacciones Químicas y Cálculo de Reactores. Levenspiel O. (1987) .
8. Evaluación de la Planta N°2-Imperial-Cañete – Julio 2002. Ing. Lidia Cánepa de Vargas, CEPIS/OPS/OMS.
9. Evaluación de la Planta Nuevo Imperial - Cañete –Abril 1999. Curso Avanzado de Tratamiento de Aguas-Maestria en Tratam.Aguas y Reuso de Desechos. UNI-FIA-Valery Mautino/ Gonzáles Javier/ Aliaga M. María / Palomino R. Graciela/ Rivera López G./ Rondinel P. Petra./ Soto López, C.
10. Programa Regional HPE / OPS / CEPIS/ de Mejoramiento de la Calidad de Agua para Consumo Humano.- Ciclo Tratamiento/Serie Filtración Rápida: Manual III/Manual IV/Manual V.

ANEXO

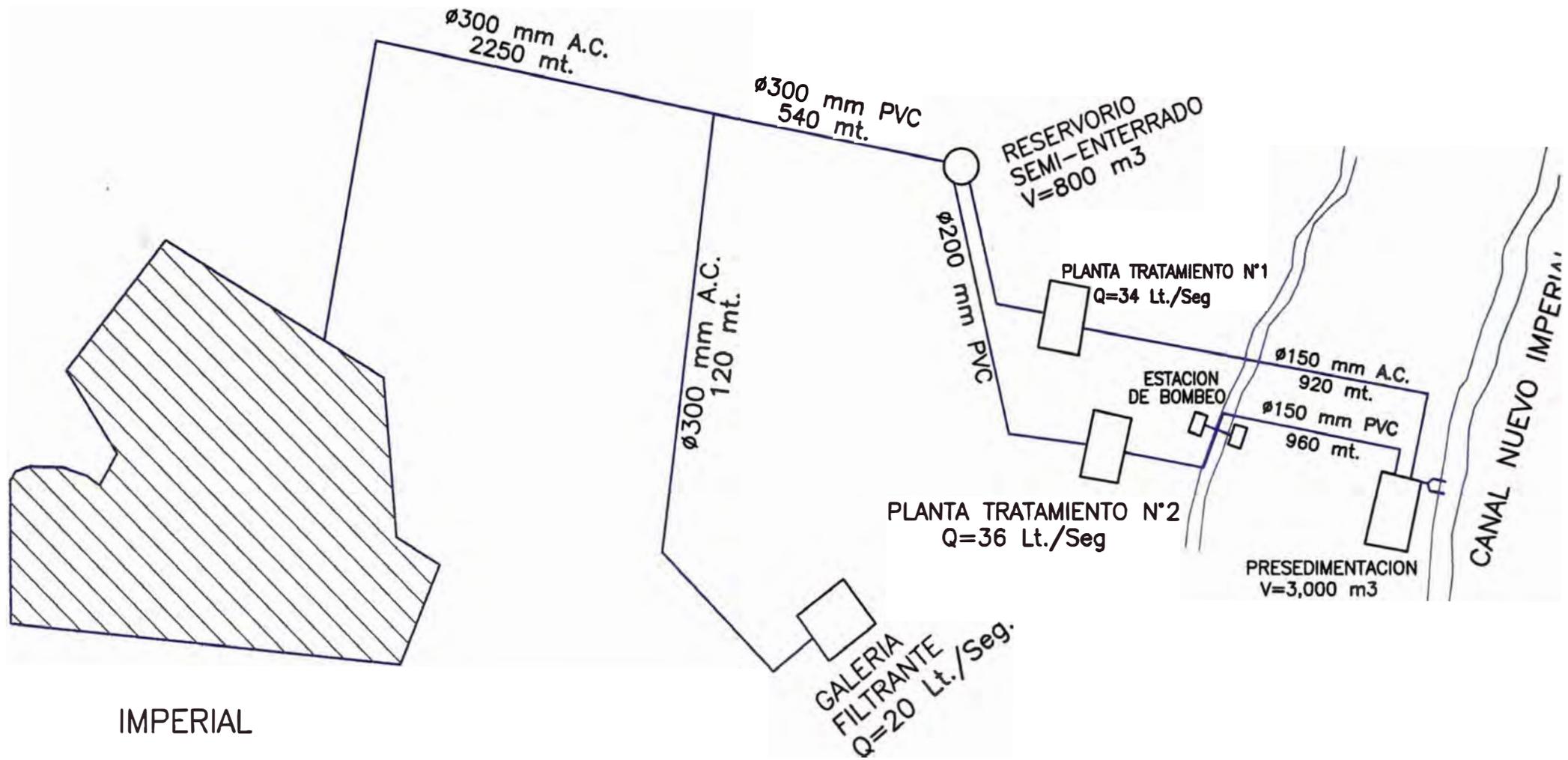


FIG. A-1: ESQUEMA SISTEMA DE AGUA POTABLE DE IMPERIAL

FIGURA A-2: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA N° 2 - IMPERIAL - CAÑETE

ESCALA: 1:100

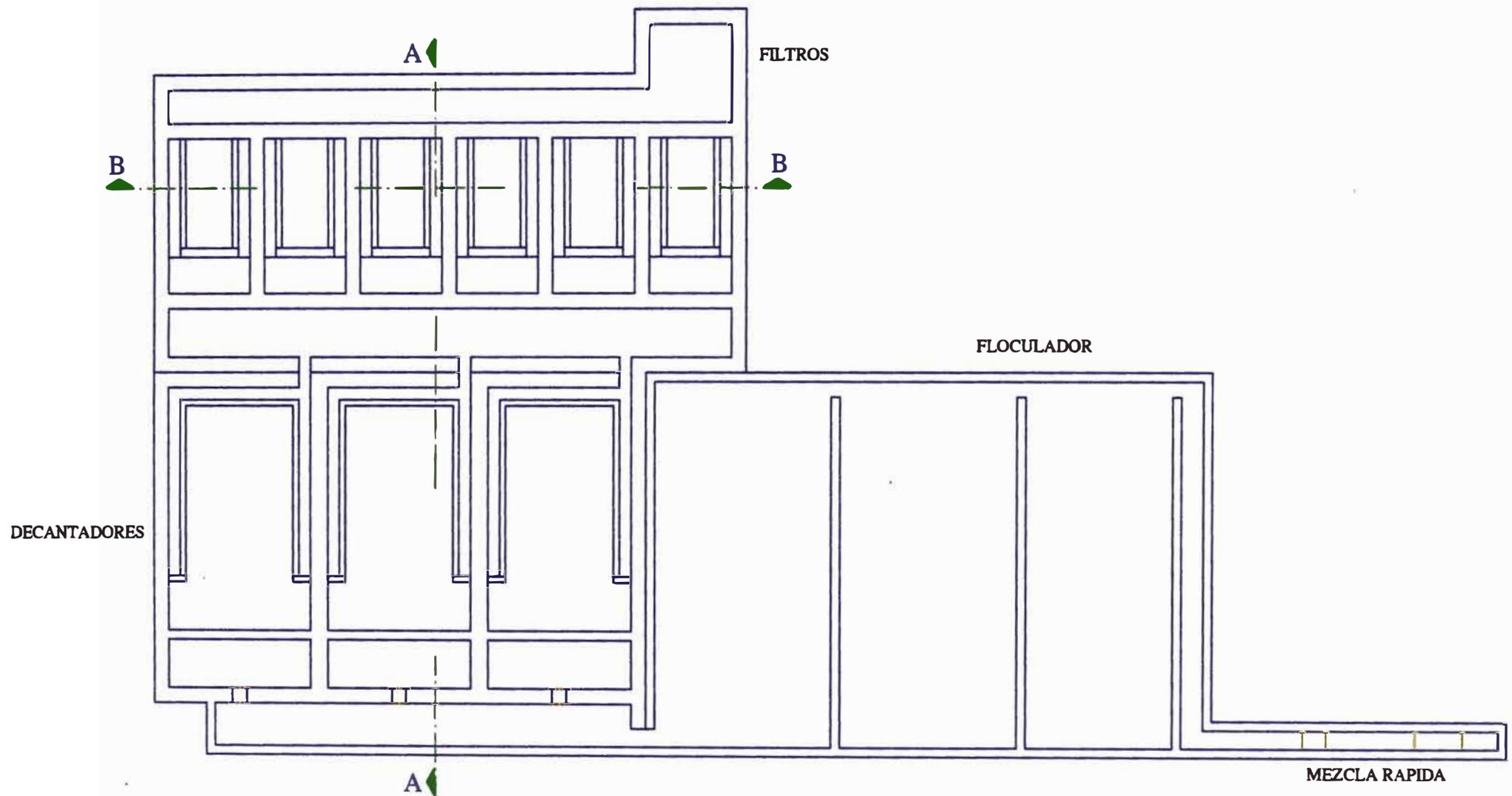


FIGURA A-3: PLANTA N° 2 - IMPERIAL - DECANTADOR - FILTRO
CORTE A - A ESCALA: 1:50

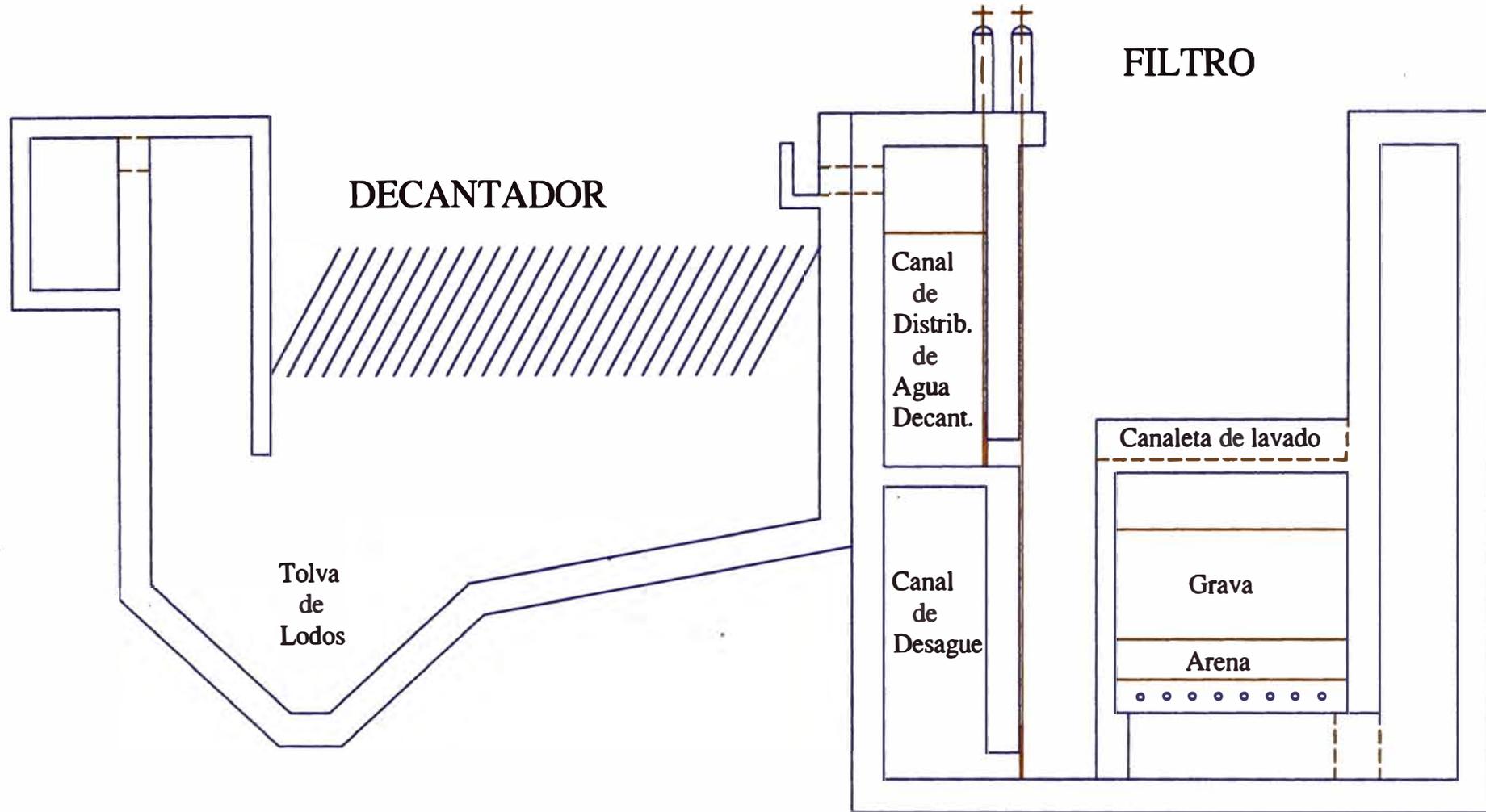


FIGURA A-4: BATERIA DE FILTROS - PLANTA N° 2

CORTE B - B

ESCALA: 1:50

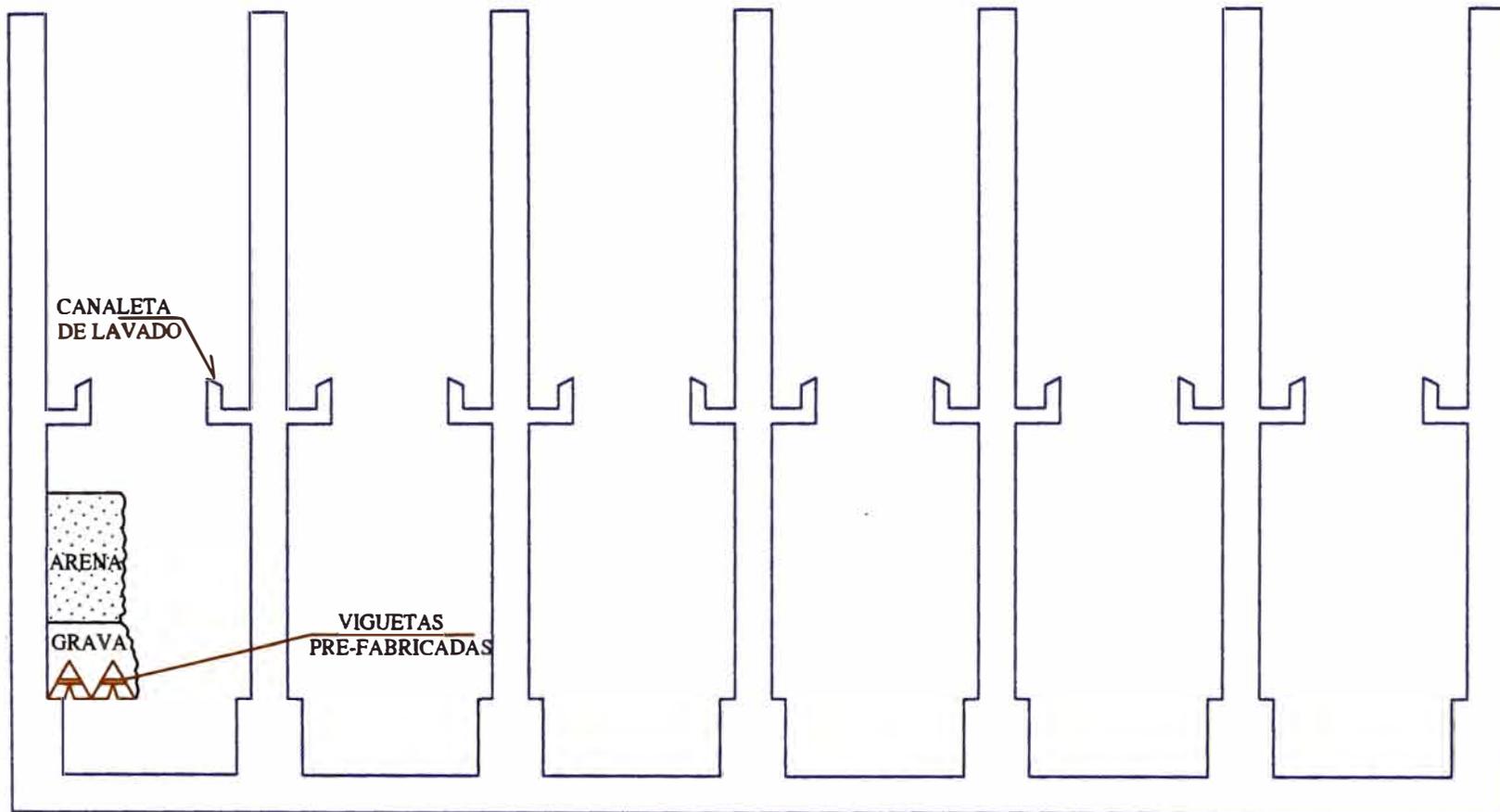
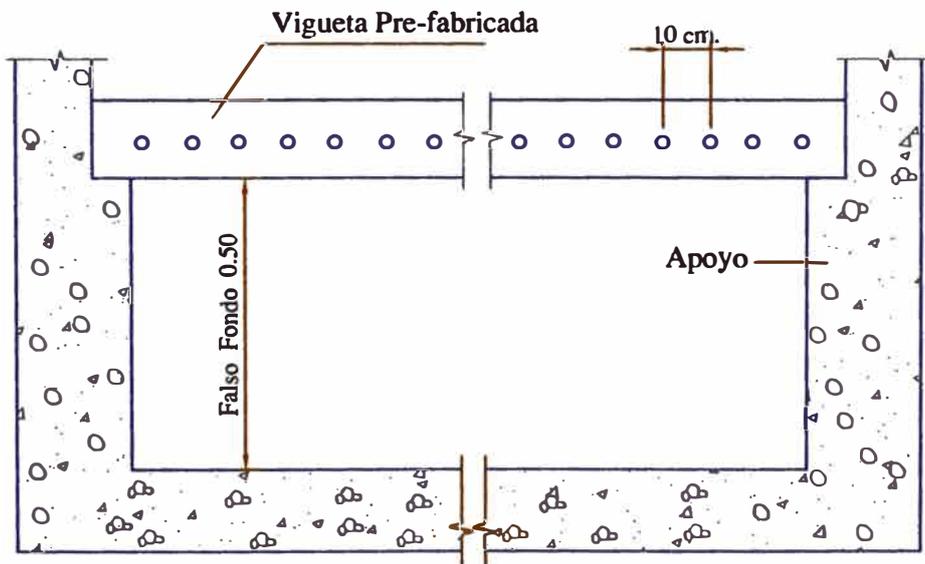
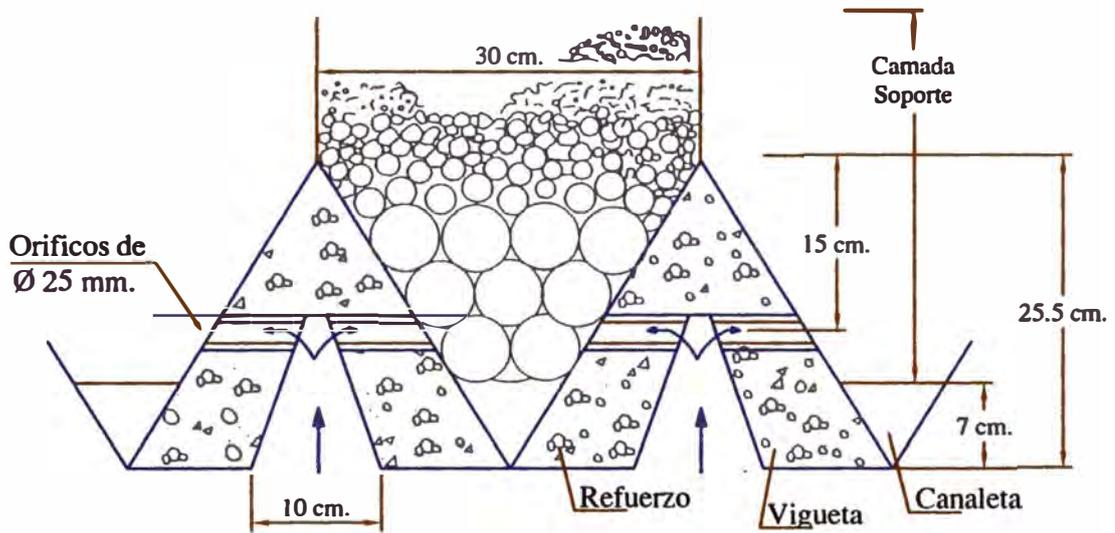


FIGURA A-5: FALSO FONDO CON VIGUETAS PRE - FABRICADAS



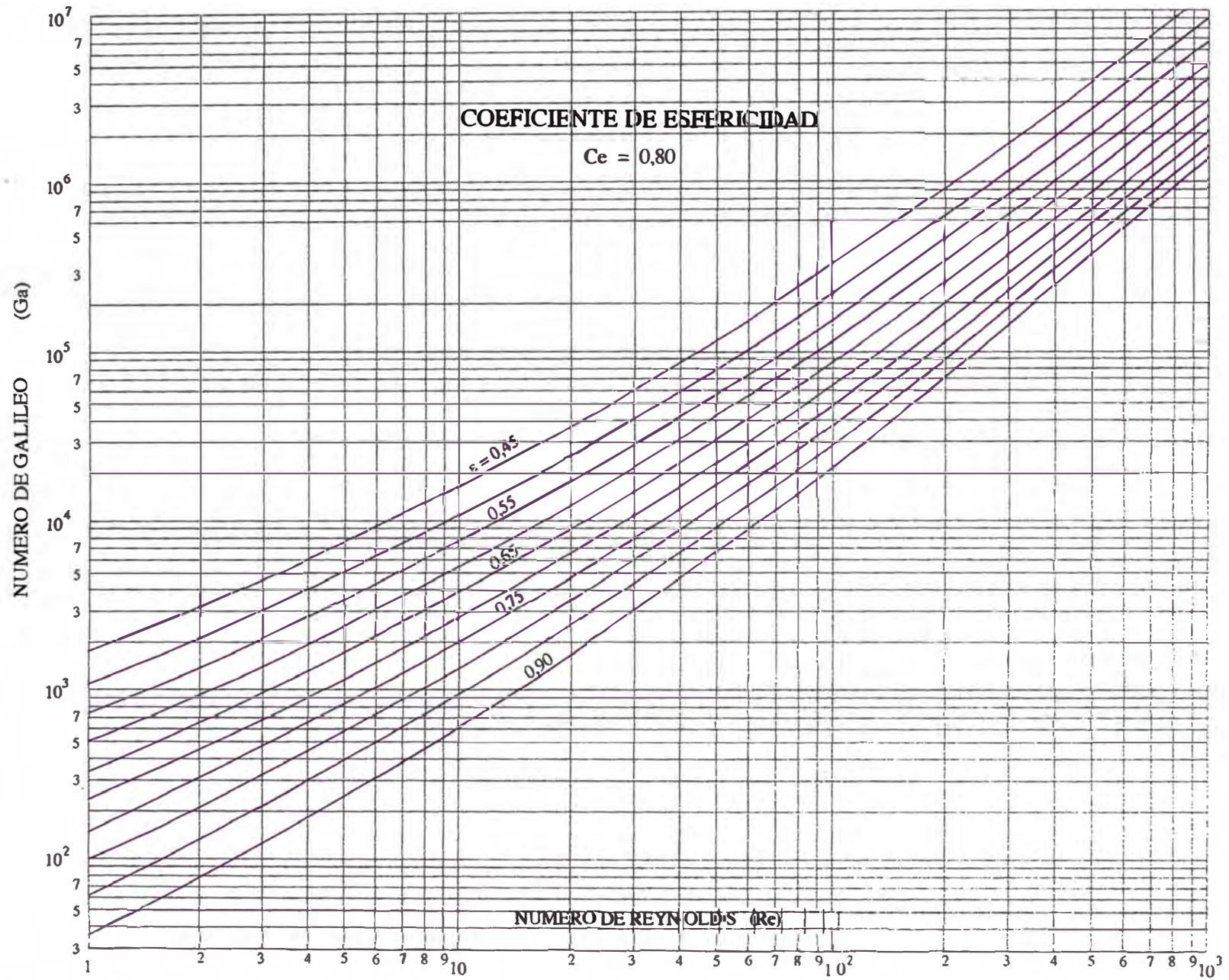
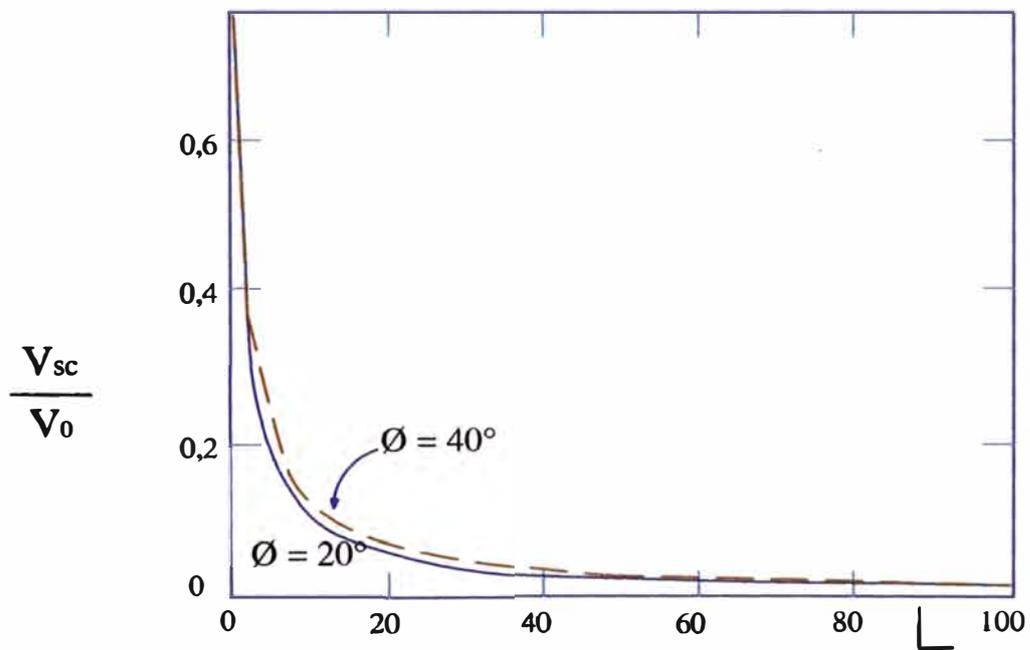


FIG. A-6

POROSIDAD DEL LECHO EXPANDIDO (ϵ) EN FUNCION DEL NUMERO DE GALILEO (Ga) Y DEL NUMERO DE REYNOLDS (Re) PARA $C_e = 0,80$

Figura A-7. Eficiencia de sedimentador de placas paralelas en función de L.



CUADRO-A-1.-HOJA DE CALCULO-NUMERO DE REYNOLDS-DECANTADORES LAMINARES ACTUALES – A CAUDAL 45lt/s

| DATOS | Unidad | Criterios | Cálculos | Resultados | Unidad |
|--|--------|---|--|--|----------------|
| $LT = 4,00$ | m. | $LT = l \cdot \cos \theta + \frac{N \cdot d + (N+1)e}{\text{sen} \theta}$ $d = \frac{(LT - l \cdot \cos \theta) \cdot \text{Sen} \theta - (N+1)e}{N}$ | $d = \frac{(4 - 1,2 \cdot \text{Cos} 60) \cdot \text{Sen} 60 - (27+1) \cdot 0,01}{27}$ | Espaciamiento entre las placas, en plano perpendicular a placas inclinadas $d = 0,0986$ | m. |
| Espesor de las placas, $e = 1$ | cm. | | | | |
| Angulo de inclinación de las placas, $\theta = 60^\circ$ | | | | | |
| Longitud del módulo de Placas, $l=120$ | cm | | | | |
| Número de Canales=27 | | | | | |
| | | $d = e' \cdot \text{sen} \theta - e$ $e' = \frac{(d + e)}{\text{Sen} \theta}$ | $e' = \frac{0,0986 + 0,01}{0,866}$ | Separación de las placas en el plano horizontal, $e' = 12,5$ | cm. |
| | | $lu = l - e' \cdot \cos \theta$ | $lu = 120 - 12,5 \cdot \cos 60$ | Longitud útil dentro de las placas, $lu = 113,73$ | cm |
| | | $L_r = \frac{lu}{d}$ | $L_r = \frac{113,73}{9,86}$ | Longitud relativa del módulo de placas, 11,53 | |
| Ancho total neto de la Zona de decantación, $B=2,44$ | m. | $A_s = \frac{N \cdot B \cdot d}{\text{Sen} \theta}$ | $A_s = \frac{27 \cdot (2,45) \cdot 9,86}{0,866 \cdot (100)}$ | Area superficial que cubre extremo de módulo de placas, $A_s = 7,53$ | m ² |
| Módulo de eficiencia de las placas, $s=1$ | | $f = \frac{\text{sen} \theta (\text{sen} \theta + l \cos \theta)}{s}$ | $f = \frac{\text{sen} 60 (\text{sen} 60 + 11,53 \cdot \cos 60)}{1}$ | Factor de forma= $f = 5,742$ | |

CUADRO A-1.- (Continuación)- HOJA DE CALCULO- NUMERO DE REYNOLDS EN DECANTADORES – A CAUDAL 45 lt/s.

| DATOS | Unidades | Criterios | Cálculos | Resultados | Unidad |
|---|----------|--|--|--|---------|
| Caudal de diseño de Decantador $Q = 0,015$ | m^3/s | $V_{sc} = \frac{Q}{f \cdot A_s}$ | $V_{sc} = \frac{0,015}{5,742 \cdot (7,53)}$ | Velocidad de sedimentac. de partícula sin placas en decantador. $V_{sc} = 3,47 \cdot 10^{-4}$ | m/s |
| | | $V_o = \frac{Q}{A_s \cdot \text{sen}\theta} \cdot 100$ | $V_o = \frac{0,015}{7,53 \cdot (0,866)} \cdot 100$ | Velocidad media del flujo, 0,23 | cm/s |
| Ancho del módulo de placas, $b = 2,44$ | m | $RH = \frac{bd}{2(b+d)}$ | $RH = \frac{244 \cdot (9,86)}{2 \cdot (244 + 9,86)}$ | Radio Hidráulico del módulo de placas, $RH = 4,73$ | cm |
| Viscosidad a $12^\circ C$ $\nu = 0,012$ | cm^2/s | $Re = \frac{4RH(V_o)}{\nu}$ | $Re = \frac{4(4,73) \cdot (0,23)}{(0,012)}$ | Número de Reynolds, teórico, Re = 453,9 | |
| | | $V_o' = \left(\frac{Re}{8}\right)^{0,5} V_{sc}$ | $V_o' = \left(\frac{453,9}{8}\right)^{0,5} \cdot (0,000347) \cdot 100$ | Velocidad Longitudinal Máxima, $V_o' = 0,26$ | $cm/s.$ |

| | | | | |
|----------------------------------|--|---|------------------------------------|----------|
| Longitud de Recolección, 6 m. | $tasa.recolect = \frac{Q \cdot 1000}{L_{RECOLECCION}}$ | $tasa_{RECOLECCION} = \frac{0,015 \cdot (1000)}{6}$ | Tasa de Recolección Teórica = 2,50 | $lt/m.s$ |
|----------------------------------|--|---|------------------------------------|----------|

CUADRO A-2. - HOJA DE CALCULO -REDIMENSIONAMIENTO DE CANAL DE DISTRIBUCION DE AGUA FLOCULADA A DECANTADORES LAMINARES

| DATOS | Unidades | Crterios | Cálculos | Resultados | Unidad |
|---|--------------------|--|---|--|-------------------|
| Caudal de Diseño = 0,045 | m ³ /s. | $q = \left(\frac{Q}{N} \right)$ | $q = \left(\begin{matrix} 0,045 \\ 3 \end{matrix} \right)$ | Caudal de cada Decantador = 0,015 | m ³ /s |
| Número de Decantadores= N=3 | | | | | |
| Altura del Canal H= 1,5 | m. | $A_{CANAL.Final} = A_3 = B_3.H$ | $A_3 = 0,24.(1,5)$ | Sección final del canal o principal, $A_3 = 0,360$ | m ² |
| Ancho mínimo, $B_3 = 0,24$ | m. | | | | |
| | | $V_{PRINCIPAL,3} = \frac{q}{A_3}$ | $V_{PRINCIPAL,3} = \frac{0,015}{0,360}$ | Velocidad en la sección final del canal $V_{PRINCIPAL,3} = 0,042$ | m/s |
| Velocidad deseada en compuertas, $V_L=0,18$ | m/s. | $A_{LATERAL} = \frac{q}{V_L}$ | $A_{LATERAL} = \frac{0,015}{0,171}$ | Area sección útil en compuertas $A_{LATERAL} = 0,0877$ | m ² |
| Ancho de compuerta, b = 0,3 | m. | $h = \frac{A_{LATERAL}}{b}$ | $h = \frac{0,0877}{0,3}$ | Altura útil en compuerta $h = 0,29$ | m. |
| | | $A_{INICIALCANAL} = A_1 = \frac{Q}{V_{PRINCIPAL,3}}$ | $d_1 = 1,5 \times 0,275$ | $A_{INICIALCANAL} = A_1 = 1,08$ | m ² |
| | | $B_1 = \frac{A_{INICIALCANAL}}{H}$ | $B_1 = \frac{1,08}{1,5}$ | Ancho Inicial del Canal $B_1 = 0,72$ | m. |

CUADRO A.2.- (CONTINUACION) – HOJA DE CALCULO-

REDIMENSIONAMIENTO DEL CANAL DE DISTRIBUCION DE AGUA FLOCULADA A DECANTADORES LAMINARES

| DATOS | Unidades | Criterios | Cálculos | Resultados | Unidad |
|--|----------|--|--|--|--------|
| | | $V_{PRINCIPAL .1} = \frac{Q}{A_1}$ | $V_{PRINCIPAL .1} = \frac{0,045}{1,08}$ | $V_{PRINCIPAL .1} = 0,042$ | m/s |
| Coeficientes $\theta = 0,70$ experimentales $\phi = 1,67$ | | $\beta_1 = 1 + \theta + \phi \left(\frac{V_{PRINCIPAL .1}}{V_{LATERAL .1}} \right)^2$ | $\beta_1 = 1 + 0,7 + 1,67 \cdot \left(\frac{0,042}{0,171} \right)^2$ | Coeficiente de pérdida de carga en compuerta 1, $\beta_1 = 1,799$ | |
| Distancia a lo largo del canal hasta la 1ª compuerta $X_1 = 1,225$ | m. | $B_2 = B_1 - \left(\frac{X_2 - X_1}{X_3 - X_1} \right) (B_1 - B_3)$ | $B_2 = 0,72 - \left(\frac{3,925 - 1,225}{6,625 - 1,225} \right) (0,72 - 0,24)$ | $B_2 = 0,48$ | m. |
| $X_2 = 3,925$ | m. | $V_{PRINCIPAL .2} = \frac{Q - q}{B_2 \cdot H}$ | $V_{PRINCIPAL .2} = \frac{0,045 - 0,015}{0,48 \cdot (1,5)}$ | $V_{PRINCIPAL .2} = 0,042$ | |
| $X_3 = 6,625$ | m. | | | | |
| | | $\beta_i = 1 + \theta + \phi \left(\frac{V_{PRINCIPAL .i}}{V_{LATERAL .i}} \right)^2$ | $\beta_2 = 1 + 0,7 + 1,66 \cdot \left(\frac{0,042}{0,171} \right)^2$ $\beta_3 = 1 + 0,7 + 1,66 \cdot \left(\frac{0,042}{0,171} \right)^2$ | $\beta_2 = 1,799$ $\beta_3 = 1,799$ | |
| | | $\sum_{i=1}^N \frac{1}{\beta_i}$ | $\sum_{i=1}^3 \frac{1}{\beta_i} = \frac{1}{1,799} + \frac{1}{1,799} + \frac{1}{1,799}$ | $\sum_{i=1}^N \frac{1}{\beta_i} = 2,237$ | |

CUADRO A.2.-(CONTINUACION) – HOJA DE CALCULO

| | | | | |
|---|--|--|--|----------|
| | $V_{LATERAL2} = \frac{Q}{A_{COMPUERTA} \beta_2 \left(\sum \frac{1}{\beta_i} \right)}$ $V_{LATERAL2} = \frac{Q}{A_{COMPUERTA} \beta_2 \left(\sum \frac{1}{\beta_i} \right)}$ $V_{LATERAL3} = \frac{Q}{A_{COMPUERTA} \beta_3 \left(\sum \frac{1}{\beta_i} \right)}$ | $V_{LATERAL1} = \frac{0,045}{0,083 \cdot 1,799 \cdot (2,237)}$ | $V_{LATERAL1} = 0,171$ $V_{LATERAL2} = 0,171$ $V_{LATERAL3} = 0,171$ | m/s |
| Acelerac.Gravedad $g = 1,98$ cm/s^2 | $h_{f1} = \frac{V_{LATERAL1}^2}{2g} \cdot \beta_1$ | $h_{f1} = \frac{(0,171)^2}{2(9,81)} \cdot 1,799$ | Pérdida de Carga Compuerta 1. $h_{f1} = 2,68 \cdot 10^{-3}$ | m. |
| | $R_H = \frac{h \cdot b}{2(h + b)}$ | $R_H = \frac{0,3 \cdot (0,29)}{2(0,3 + 0,29)}$ | $R_H = 0,074$ | |
| Coef.Darcy- Weissba, $\eta = 0,02$ $\gamma = 2810$ μ | $G_1 = \left(\frac{\gamma}{\mu} \right) (\eta R_H)^{-0,7} (V_{LATERAL})^3$ | $G_1 = \frac{2810}{1} (0,015)(0,074)^{-0,7} (0,171)^3$ | Gradiente de Velocidad en 1ª Compuerta $G_1 = 18,7$ | s^{-1} |

CUADRO A.3. - HOJA DE CALCULO -DIMENSIONAMIENTO DE TUBERIAS SUMERGIDAS DE DISTRIBUCION DE AGUA FLOCULADA EN DECANTADORES LAMINARES

| DATOS | Unidades | Criterios | Cálculos | Resultados | Unidad |
|--|--------------------|--|---|---|-------------------|
| Caudal en cada Decantador = 0,015 | m ³ /s. | | | | m ³ /s |
| Número de Tuberías o Principales por Decantador = NT = 2 | | $q = \left(\frac{Q}{NT} \right) 1,2$ | $q = \left(\frac{0,015}{2} \right) 1,2$ | Caudal que ingresa a cada Tubería = 0,009 | |
| Diámetro de la Tubería o Principal = D = 22 | pulg. | $A_{TUBERIA} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} (0,0254)^2$ | $A_{TUBERIA} = \frac{(3,1416)(22)^2}{4} (0,0254)^2$ | Sección de la Tubería = 0,245 | m ² |
| Velocidad en Orificios = 0,15 | m/s | $A_{TOTAL\ ORIFICIOS} = \frac{q}{V_{ORIFICIOS}}$ | $A_{TOTAL\ ORIFICIOS} = \frac{0,009}{0,15}$ | Area Total de Orificios = 0,060 | m ² . |
| Longitud de la Tubería = L _{TUBERIA} = 4 | m. | $N = \frac{L_{TUBERIA}}{d} - 1$ | $N = \frac{4}{0,4} - 1$ | Número de Orificios = 9 | |
| Separación entre Orificios = d = 0,4 | m. | | | | |
| | | $A_{ORIFICIO} = \frac{A_{TOTAL\ ORIFICIOS}}{N}$ | $A_{ORIFICIO} = \frac{0,06}{9}$ | $A_{ORIFICIO} = 0,0066$ | m ² . |
| | | $D_{ORIFICIO} = \frac{A_{ORIFICIO} \cdot 4}{\pi}$ | $D_{ORIFICIO} = \frac{0,0066}{3,1416} (4)$ | $D_{ORIFICIO} = 0,0917$ | m. |

CUADRO A.3. (CONTINUACION) - HOJA DE CALCULO- DIMENSIONAMIENTO DE TUBERIAS SUMERGIDAS DE DISTRIBUCION DE AGUA FLOCULADA EN DECANTADORES LAMINARES

| DATOS | Unidades | Criterios | Cálculos | Resultados | Unidad |
|----------------------------------|----------|--|---|--|-------------------|
| | | $q_{ORIFICIO} = \frac{q}{N}$ | $q_{ORIFICIO} = \frac{0,009}{9}$ | Caudal por cada Orificio, $q_{ORIFICIO} = 0,001$ | m ³ /s |
| | | $V_{PRINCIPAL,1} = \frac{q}{A_{TUBERIA}}$ | $V_{PRINCIPAL,1} = \frac{0,009}{0,245}$ | Velocidad Inicial en Tubería o Principal= 0,0367 | m/s |
| $\theta = 0,70$ $\phi = 1,67$ | | $\beta_1 = 1 + \theta + \phi \left(\frac{V_{PRINCIPAL,1}}{V_{LATERAL,1}} \right)^2$ | $\beta_1 = 1 + 0,7 + 1,67 \left(\frac{0,0367}{0,15} \right)^2$ | Coefficiente de pérdida de carga, orificio1= $\beta_1 = 1,800$ | |
| | | $q_N = q - (N-1)(q_{ORIFICIO})$ | $q_2 = 0,009 - 1.(0,001)$ | Caudal en Tubería o Principal al alcanzar orificio2 = 0,008 | m ³ /s |
| | | $V_{PRINCIPAL,2} = \frac{q}{A_{TUBERIA}}$ | $V_{PRINCIPAL,2} = \frac{0,008}{0,245}$ | Velocidad en Principal al alcanzar orificio 2= 0,0326 | m/s |
| | | $\beta_2 = 1 + \theta + \phi \left(\frac{V_{PRINCIPAL,2}}{V_{LATERAL,2}} \right)^2$ | $\beta_2 = 1 + 0,7 + 1,67 \left(\frac{0,0326}{0,15} \right)^2$ | Coefficiente de pérdida de carga, orificio2= $\beta_2 = 1,779$ | |

| | | | | | |
|--|-------------------|---|--|--|-----------------|
| CUADRO A-3. - (CONTINUACION) | | $\sum_{i=1}^n \frac{1}{\beta_i}$ | $\sum_{i=1}^9 \frac{1}{\beta_i} = \frac{1}{1,8} + \frac{1}{1,799} + \dots$ | $\sum_{i=1}^9 \frac{1}{\beta_i} = 6,826$ | |
| | | $V_{LATERAL,1} = \frac{q}{A_{ORIFICIO} \cdot \sqrt{\beta_1} \cdot \left(\sum_i \frac{1}{\beta_i} \right)}$ | $V_{LATERAL,1} = \frac{0,009}{0,0066 \cdot (1,80) \cdot 6,826}$ | Velocidad Lateral en el Orificio 1 = 0,1474 | m/s. |
| | | $V_{LATERAL,2} = \frac{q}{A_{ORIFICIO} \cdot \sqrt{\beta_2} \cdot \left(\sum_i \frac{1}{\beta_i} \right)}$ | $V_{LATERAL,2} = \frac{0,009}{0,0066 \cdot (1,799) \cdot 6,826}$ | Velocidad Lateral en el Orificio 2 = 0,1483 | m/s |
| | | $V_{LATERAL,9} = \frac{q}{A_{ORIFICIO} \cdot \sqrt{\beta_9} \cdot \left(\sum_i \frac{1}{\beta_i} \right)}$ | $V_{LATERAL,9} = \frac{0,009}{0,0066 \cdot (1,701) \cdot 6,826}$ | Velocidad Lateral en el Orificio 9 = 0,1516 | m/s |
| | | Desviación = $\frac{V_{LATERAL,9} - V_{LATERAL,1}}{V_{LATERAL,9}} \cdot 100\%$ | Desviación = $\frac{0,1516 - 0,1474}{0,1516} \cdot 100$ | Desviación de la velocidad lateral = 27,8% | |
| Acelerac. Gravedad g = 1,98 | cm/s ² | $h_{f1} = \frac{V_{LATERAL,1}^2}{2g} \cdot \beta_1$ | $h_{f1} = \frac{(0,148)^2}{2(9,81)} \cdot 1,80$ | Pérdida de Carga Orificio 1 = 2.10 ⁻³ | m. |
| Coef. Darcy, W, η = 0,02 γ = 2847 μ | | $G_1 = \left(\frac{\gamma}{\mu \cdot 2g} \right)^{1/2} \left(\frac{\eta}{D_{ORIFICIO}} \right)^{1/2} V_{LATERAL}^3$ | $G_1 = \frac{2847}{2(9,81)} \cdot \frac{0,02}{(0,0917)} \cdot (0,148)^3$ | Gradiente de Velocidad en el Orificio 1 = 17,08 | s ⁻¹ |

CUADRO A.4. -FILTROS DE TASA DECLINANTE Y LAVADO MUTUO - OPTIMIZACION A 35 lt/s – RESUMEN

DATOS:

| | | | | | | | | |
|--------------------------------------|-------|-----------------------------------|----------------------------------|-------|--------------------|--|--------|-------------------|
| Q. DISEÑO | 0,035 | m ³ /s | ANCHO FILTRO | 1,4 | m | K DRENAJE | 1 | |
| VELOCIDAD DE LAVADO | 0,83 | m/min | ANCHO VIGUETAS | 0,3 | m | VELOCID.COMPUERTA ENTRADA | 0,35 | m/s |
| VELOCIDAD o TASA FILTRACION | 200,0 | m ³ /m ² .d | DISTANCIA ENTRE ORIFICIOS | 0,1 | m | VELOCIDAD CMPTA.LAVADO | 0,4 | m/s |
| MEDIO FILTRANTE | ARENA | | LONGITUD DE UNIDAD Y VIGUETAS | 1,8 | m. | LONGITUD CRESTA VERTEDERO SALIDA | 0,4 | m. |
| TAMAÑO EFECTIVO | 0,67 | mm. | DIAMETRO ORIFICIO | 1 | Pulg. | | | |
| C.U.,COEFICIENTE DE UNIFORMIDADARENA | 1,47 | | Cd ORIFICIOS | 0,65 | | DENSIDAD ARENA | 2650 | Kg/m ³ |
| NUMERO DE CANALETAS LAVADO | 2 | | ACELER.GRAVEDAD | 9,81 | m/s ² | DENSIDAD AGUA | 998,52 | Kg/m ³ |
| ALTURA UTIL DE CANALETA | 0,19 | m. | ALTURA FALSO FDO | 0,5 | m. | | | |
| H.TOTAL CANALETA LAVADO | 0,366 | m | K FALSO FONDO | 1 | | COEFICIENTE DE ESFERICIDAD (Ce) ARENA | 0,8 | |
| H.FALSO FONDO | 0,5 | m | VELOCIDAD DE LA COMPUERTA SALIDA | 0,43 | m/s. | | | |
| H.DRENAJE +GRAVA | 0,57 | m | L.CANALETA LAVADO | 1,8 | m | POROSIDAD ARENA | 0,42 | |
| H.LECHO FILTRANTE ARENA | 0,8 | m | VISCOSIDAD DINAMICA | 0,001 | N.s/m ² | | | |
| | | | VISCOS.CINEMATICA | 1E-06 | m ² /s | | | |

CUADRO A.4. –Continuación

| AREA DE UN FILTRO (m ²) | AREA TOTAL FILTROS(m ²) | NUMERO DE FILTROS | POROSIDAD PROM. ARENA EXPANDIDA |
|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------|---------------------------------|
| 2,53 | 15,12 | 6 | 0,52 |

| %DE EXPANSION ARENA | ALTURA MIN CANALETA SOBRE ARENA | ALTURA LECHO FILT EXPANDIDO(m) | CAUDAL CADA CNLTA (m ³ /min) | ANCHO CANALETA(m) |
|---------------------|---------------------------------|--------------------------------|---|-------------------|
| 22 | 0,543 | 0,977 | 1,365 | 0,20 |

| ALTURA DESDE VERTEDERO CNALETA HASTA.FONDO(m) | H _{f1} ARENA DURANTE LAVADO(m) | NUMERO DE VIGUETAS DRENAJE | NUMERO DE ORIFICIOS/ VIGUETA |
|---|---|----------------------------|------------------------------|
| 2,41 | 0,766 | 5 | 36 |

| # ORIFICIOS DRENAJE | CAUDAL ORIFICIOS DE LAVADO, m ³ /s | AREA ORIFICIO DRENAJE, m ² | H _{f2} ORIFICIO DRENAJE (m) | SECC. TRANSV. FALSO FONDO, m ² | VELOCIDAD RETROLAVADO FALSO FONDO.m/s |
|---------------------|---|---------------------------------------|--------------------------------------|---|---------------------------------------|
| 168 | 2,08.E-04 | 5,07. E-04 | 0,020 | 0,90 | 0,039 |

| H _{f3} FALSO.FDO RETROLAVADO (m) | PERDIDA DE CARGA COMP.SALIDA, H _{f4} RETROLAVAD(m) | H _{f5} , ALTURA DE AGUA SOBRE CANALETA RECOLECCION, m. | H _f TOTAL RETROLAVADO (m) | H _v , ALTURA VERTEDERO QUE CONTROLA LAVADO(m) |
|---|---|---|--------------------------------------|--|
| 7,7018E-05 | 8,155E-03 | 0,0361 | 0,8311 | 3,24 |

CUADRO A.4. -CONTINUACION.

| | | | | |
|---|--|--|---|--|
| Hfi ₁ , PERDIDA CARG. INIC. ARENA FUNC(V _{FILT}), m. | CAUDAL, q _{ORIF.} ORIF. DRENAJE, FUNC(V _F), m ³ /s | Hfi ₃ , PERDIDA CARGA ORIF. DRENAJE EN FUNC. (V _F), m | VELOC. FALSO FONDO. EN FUNC. (V _F), m/s | Hfi ₄ , FALSO FONDO EN FUNC. (V _F), m |
| 1,31E-03 . V _F | 1,74E-07. V _F ² | 1,43E-08. V _F ² | 3,25.E-05. V _F | 5,4.E-11. V _F ² |
| SECCION CMPTA. ENTRADA, m ² | Hfi ₅ , COMPUERTA. ENTRADA, m | SECCION CMPTA. SALIDA, m ² | Hfi ₆ , COMPUERTA. SALIDA | ALTURA. AGUA, EN VERTEDERO .SALIDA, Hfi ₇ |
| 0,022 | 9,24-08. V _F ² | 0,019 | 1,21.E07 V _F ² | 3,84.E-03 V _F ^{2/3} |

CARGA HIDRAULICA DISPONIBLE PARA EL PROCESO = 2,27.E-07 VF² + 1,31.E-03 (V_F) + 3,84.E-04 V_F^{2/3}

CUADRO A.5.-CALCULOS PARA PERDIDA DE CARGA EN OPERACIÓN Y EXPANSION DEL MEDIO FILTRANTE DURANTE LAVADO:

| MEDIO FILTANTE: ARENA | | | | Coeficiente de Esfericidad: 0,8 | | | | |
|-----------------------|-----------|--------------------|-------|---------------------------------|----------------|---|-------------------------------------|--|
| Di MIN mm | Di MAX mm | Diámetro Equiv. mm | Ga | Re MODIFICADO | ε _i | x _i | x _i /(1-ε _i) | x _i /(D _{EQUIV.i}) ² |
| 1,14 | 1,41 | 1,295 | 35160 | 17 | 0,42 | 0,138 | 0,238 | 82245,6 |
| 1 | 1,14 | 1,091 | 21000 | 15 | 0,47 | 0,244 | 0,460 | 205042,02 |
| 0,84 | 1 | 0,917 | 12454 | 12 | 0,52 | 0,298 | 0,621 | 354761,90 |
| 0,71 | 0,84 | 0,772 | 7451 | 11 | 0,56 | 0,198 | 0,450 | 331991,95 |
| 0,59 | 0,71 | 0,647 | 4386 | 9 | 0,62 | 0,085 | 0,224 | 202912,39 |
| 0,5 | 0,59 | 0,543 | 2592 | 8 | 0,67 | 0,037 | 0,112 | 1254423,73 |
| | | | | | | Σ(x _i /(1-ε _i))= 2,105 | | |
| | | | | | | Σ(x _i /(D _{EQUIV.i}) ²) = 1302377,66 | | |

Cuadro A.6. - FILTROS DE TASA DECLINANTE Y LAVADO MUTUO - OPTIMIZACION a 35t/s – TASAS DE FILTRACION Y PERDIDAS DE CARGA POR RETENCION DE IMPUREZAS DURANTE UNA CORRIDA DE FILTRACION (*).

| TASAS DE FILTRACION ($m^3 / m^2 . dia$) | PERDIDAS DE CARGA POR RETENCION DE IMPUREZAS, m. | RESISTIVIDAD |
|--|--|-----------------------------|
| $V_{Fm\acute{a}x} = 300,42$ | $h_o = 0,0849$ | $k_o = 0,00028$ |
| $V_{Fa} = 250,96$ | $h_a = 0,0709$ | $k_a = 0,00062$ |
| $V_{Fb} = 209,33$ | $h_b = 0,1300$ | $k_b = 0,00103$ |
| $V_{Fc} = 174,83$ | $h_c = 0,1789$ | $k_c = 0,00152$ |
| $V_{Fd} = 144,86$ | $h_d = 0,2195$ | $k_d = 0,00210$ |
| $V_{Fm\acute{i}n} = 120,39$ | $h_e = 0,2530$ | $k_{m\acute{a}x} = 0,00281$ |

$$Factor, F = \frac{V_{F, m\acute{a}x}}{V_{F, med}}$$

$V_{F, M}$ = Tasa de filtraci3n en un filtro limpio durante el lavado de otro de la bateria de seis filtros.

$$V_{F, M} = \left(V_{F, m\acute{a}x} \right)^{\frac{6}{5}}$$

(*) Procedimiento de c\acute{a}culo descrito en p\acute{a}gs. 57 y 58.

Cuadro A-7. - FILTROS DE TASA DECLINANTE Y LAVADO MUTUO - OPTIMIZACION a 35lt/s- NIVELES DE OPERACIÓN (*)

| | |
|--------------------------|--------------------------|
| $V_{F,M}$ | $358.63 m^3 / m^2 . dia$ |
| V_{Fmedia} | $200 m^3 / m^2 . dia$ |
| F | 1,50 |
| NIVEL N_1 , (m) | 0,545 |
| NIVEL N_2 , (m) | 0,630 |
| $h_o = N_2 - N_1$ (m) | 0,0849 |

NIVEL DURANTE LAVADO:

| | |
|-------------|-------|
| N_3 , (m) | 0,682 |
|-------------|-------|

$H_{T,máx}$ = PERDIDA DE CARGA MAXIMA SIN RETENCION DE IMPUREZAS.

$$H_{T,máx} = N_1$$

$H_{CAJAFILTRO}$ = PROFUNDIDAD DE LA CAJA DE FILTROS

H_V = ALTURA DEL VERTEDERO QUE CONTROLA EL LAVADO.

$$H_{CAJAFILTRO} = H_{T,máx} + h_o + H_V + 0,2 = N_1 + h_o + H_V + 0,2$$

$$H_{CAJAFILTRO} = N_2 + H_V + 0,2$$

$$H_{CAJAFILTRO} = 0,63 + 3,24 + 0,2 = 4,07 m$$

$$H_{CAJAFILTRO} = 4,07 m.$$

(*) Procedimiento de cálculo descrito en págs. 57 y 58.

CUADRO A-8.- DATA HISTORICA- PTA2 IMPERIAL CAÑETE -2002.

TURBIEDAD (NTU)

| DESCRIPCION | ENERO 2002 | FEBRERO 2002 | MARZO 2002 | ABRIL 2002 |
|----------------|------------|--------------|------------|------------|
| AGUA CRUDA | 106,2 | 275,9 | 67,1 | 39,7 |
| AGUA DECANTADA | 3,00 | 3,30 | 4,01 | 2,05 |
| AGUA FILTRADA | 0,95 | 0,76 | 1,02 | 0,62 |

FUENTE: EMAPA- CAÑETE

CUADRO A-9

FLOCULADOR-DATOS PARA LA CURVA DE DISTRIBUCION ADIMENSIONAL

$C_0 = 217 \mu\text{s/cm}$

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

$$E(\theta) = \frac{C - C_0}{\int_0^{\infty} (C - C_0) d\theta}$$

| t_i (min) | $C_i - C_0$ | θ | $(C_i - C_0) \cdot \Delta\theta$ | $E(\theta)$ |
|-------------|-------------|----------|----------------------------------|-------------|
| 0 | 0 | 0,00 | 0,000 | 0,000 |
| 4 | 3 | 0,16 | 0,493 | 0,012 |
| 6 | 5 | 0,25 | 0,411 | 0,019 |
| 8 | 9 | 0,33 | 0,739 | 0,035 |
| 10 | 8 | 0,41 | 0,657 | 0,031 |
| 12 | 91 | 0,49 | 7,471 | 0,352 |
| 14 | 450 | 0,57 | 36,945 | 1,738 |
| 16 | 364 | 0,66 | 29,885 | 1,406 |
| 18 | 317 | 0,74 | 26,026 | 1,225 |
| 20 | 243 | 0,82 | 19,950 | 0,939 |
| 22 | 215 | 0,90 | 17,652 | 0,831 |
| 24 | 174 | 0,99 | 14,285 | 0,672 |
| 26 | 146 | 1,07 | 11,987 | 0,564 |
| 30 | 118 | 1,23 | 19,376 | 0,456 |
| 32 | 100 | 1,31 | 8,210 | 0,386 |
| 34 | 179 | 1,40 | 14,696 | 0,691 |
| 36 | 169 | 1,48 | 13,875 | 0,653 |
| 38 | 159 | 1,56 | 13,054 | 0,614 |
| 42 | 48 | 1,72 | 7,882 | 0,185 |
| 44 | 42 | 1,81 | 3,448 | 0,162 |
| 46 | 32 | 1,89 | 2,627 | 0,124 |
| 48 | 27 | 1,97 | 2,217 | 0,104 |
| 50 | 22 | 2,05 | 1,806 | 0,085 |
| 52 | 20 | 2,13 | 1,642 | 0,077 |
| 54 | 16 | 2,22 | 1,314 | 0,062 |
| 56 | 13 | 2,30 | 1,067 | 0,050 |
| 60 | 10 | 2,46 | 1,642 | 0,039 |

258,863

**CUADRO A-10-FLOCULADOR- FRACCION DE CORRIENTE
DE SALIDA CON EDAD INFERIOR a teta**

| θ | $E(\theta)$ | $\Delta\theta$ | $E(\theta).\Delta\theta$ | $F(\theta)$ |
|----------|-------------|----------------|--------------------------|-------------|
| 0,00 | 0,000 | 0 | 0,0000 | 0 |
| 0,16 | 0,012 | 0,16 | 0,0019 | 0,002 |
| 0,25 | 0,019 | 0,08 | 0,0016 | 0,003 |
| 0,33 | 0,035 | 0,08 | 0,0029 | 0,006 |
| 0,41 | 0,031 | 0,08 | 0,0025 | 0,009 |
| 0,49 | 0,352 | 0,08 | 0,0289 | 0,038 |
| 0,57 | 1,738 | 0,08 | 0,1427 | 0,180 |
| 0,66 | 1,406 | 0,08 | 0,1154 | 0,296 |
| 0,74 | 1,225 | 0,08 | 0,1005 | 0,396 |
| 0,82 | 0,939 | 0,08 | 0,0771 | 0,474 |
| 0,90 | 0,831 | 0,08 | 0,0682 | 0,542 |
| 0,99 | 0,672 | 0,08 | 0,0552 | 0,597 |
| 1,07 | 0,564 | 0,08 | 0,0463 | 0,643 |
| 1,23 | 0,456 | 0,16 | 0,0748 | 0,718 |
| 1,31 | 0,386 | 0,08 | 0,0317 | 0,750 |
| 1,40 | 0,691 | 0,08 | 0,0568 | 0,807 |
| 1,48 | 0,653 | 0,08 | 0,0536 | 0,860 |
| 1,56 | 0,614 | 0,08 | 0,0504 | 0,911 |
| 1,72 | 0,185 | 0,16 | 0,0304 | 0,941 |
| 1,81 | 0,162 | 0,08 | 0,0133 | 0,954 |
| 1,89 | 0,124 | 0,08 | 0,0101 | 0,964 |
| 1,97 | 0,104 | 0,08 | 0,0086 | 0,973 |
| 2,05 | 0,085 | 0,08 | 0,0070 | 0,980 |
| 2,13 | 0,077 | 0,08 | 0,0063 | 0,986 |
| 2,22 | 0,062 | 0,08 | 0,0051 | 0,991 |
| 2,30 | 0,050 | 0,08 | 0,0041 | 0,996 |
| 2,46 | 0,039 | 0,16 | 0,0063 | 1,002 |

CUADRO A-11 DECANTADOR 1 - PLANTA 2
DATOS PARA LA CURVA DE DISTRIBUCION

| t_i (min) | $C_i - C_o$ | θ | $(C_i - C_o) \Delta \theta$ | $E(\theta)$ |
|-------------|-------------|----------|-----------------------------|-------------|
| 0 | 0 | 0,000 | 0,0000 | 0 |
| 4 | 2 | 0,033 | 0,0661 | 0,0171 |
| 6 | 6 | 0,099 | 0,3964 | 0,0514 |
| 8 | 6 | 0,132 | 0,1982 | 0,0514 |
| 10 | 6 | 0,165 | 0,1982 | 0,0514 |
| 12 | 5 | 0,198 | 0,1652 | 0,0429 |
| 14 | 5 | 0,231 | 0,1652 | 0,0429 |
| 16 | 6 | 0,264 | 0,1982 | 0,0514 |
| 18 | 7 | 0,297 | 0,2313 | 0,0600 |
| 20 | 7 | 0,330 | 0,2313 | 0,0600 |
| 22 | 8 | 0,363 | 0,2643 | 0,0686 |
| 24 | 7 | 0,396 | 0,2313 | 0,0600 |
| 28 | 18 | 0,463 | 1,1893 | 0,1543 |
| 30 | 118 | 0,496 | 3,8982 | 1,0113 |
| 32 | 150 | 0,529 | 4,9554 | 1,2855 |
| 34 | 160 | 0,562 | 5,2857 | 1,3712 |
| 36 | 157 | 0,595 | 5,1866 | 1,3455 |
| 38 | 156 | 0,628 | 5,1536 | 1,3370 |
| 40 | 151 | 0,661 | 4,9884 | 1,2941 |
| 42 | 150 | 0,694 | 4,9554 | 1,2855 |
| 44 | 153 | 0,727 | 5,0545 | 1,3113 |
| 46 | 119 | 0,760 | 3,9313 | 1,0199 |
| 48 | 97 | 0,793 | 3,2045 | 0,8313 |
| 50 | 123 | 0,826 | 4,0634 | 1,0541 |
| 52 | 84 | 0,859 | 2,7750 | 0,7199 |
| 54 | 102 | 0,892 | 3,3696 | 0,8742 |
| 56 | 74 | 0,925 | 2,4446 | 0,6342 |
| 58 | 78 | 0,958 | 2,5768 | 0,6685 |
| 60 | 72 | 0,991 | 2,3786 | 0,6171 |
| 62 | 79 | 1,024 | 2,6098 | 0,6771 |
| 64 | 73 | 1,057 | 2,4116 | 0,6256 |
| 66 | 74 | 1,090 | 2,4446 | 0,6342 |
| 68 | 66 | 1,123 | 2,1804 | 0,5656 |
| 70 | 65 | 1,156 | 2,1473 | 0,5571 |
| 72 | 56 | 1,189 | 1,8500 | 0,4799 |
| 74 | 66 | 1,222 | 2,1804 | 0,5656 |
| 76 | 64 | 1,255 | 2,1143 | 0,5485 |
| 78 | 62 | 1,288 | 2,0482 | 0,5314 |
| 80 | 59 | 1,321 | 1,9491 | 0,5056 |
| 82 | 70 | 1,354 | 2,3125 | 0,5999 |
| 84 | 67 | 1,388 | 2,2134 | 0,5742 |
| 86 | 61 | 1,421 | 2,0152 | 0,5228 |
| 88 | 48 | 1,454 | 1,5857 | 0,4114 |
| 90 | 44 | 1,487 | 1,4536 | 0,3771 |
| 92 | 42 | 1,520 | 1,3875 | 0,3600 |
| 94 | 43 | 1,553 | 1,4205 | 0,3685 |

$$C_o = 229 \mu\text{s/cm}$$

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

$$E(\theta) = \frac{C - C_o}{\int_0^{\theta} (C - C_o) d\theta}$$

CUADRO A-11 -Continuación

| Tiempo t_i (min) | $C_i - C_o$ ($\mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$) | θ | $(C - C_o) \cdot \Delta\theta$ | $E(\theta)$ |
|-----------------------|---|----------|--------------------------------|-------------|
| 96 | 37 | 1,586 | 1,2223 | 0,3171 |
| 98 | 39 | 1,619 | 1,2884 | 0,3342 |
| 100 | 39 | 1,652 | 1,2884 | 0,3342 |
| 102 | 39 | 1,685 | 1,2884 | 0,3342 |
| 104 | 39 | 1,718 | 1,2884 | 0,3342 |
| 106 | 33 | 1,751 | 1,0902 | 0,2828 |
| 108 | 37 | 1,784 | 1,2223 | 0,3171 |
| 110 | 35 | 1,817 | 1,1563 | 0,3000 |
| 112 | 24 | 1,850 | 0,7929 | 0,2057 |
| 114 | 21 | 1,883 | 0,6938 | 0,1800 |
| 116 | 24 | 1,916 | 0,7929 | 0,2057 |
| 118 | 18 | 1,949 | 0,5946 | 0,1543 |
| 120 | 5 | 1,982 | 0,1652 | 0,0429 |
| 122 | 10 | 2,015 | 0,3304 | 0,0857 |
| 124 | 7 | 2,048 | 0,2313 | 0,0600 |
| 126 | 17 | 2,081 | 0,5616 | 0,1457 |
| 128 | 16 | 2,114 | 0,5286 | 0,1371 |
| 130 | 2 | 2,147 | 0,0661 | 0,0171 |
| 132 | 0 | 2,180 | 0,0000 | 0,0000 |

116,68

CUADRO A-12 -DECANTADOR 1- DATOS DE FRACCION DE CORRIENTE
DE SALIDA CON EDAD INFERIOR a teta

| θ | $E(\theta)$ | $\Delta\theta$ | $E(\theta)\Delta\theta$ | $F(\theta)$ |
|----------|-------------|----------------|-------------------------|-------------|
| 0,000 | 0,0000 | | 0,00000 | 0,0000 |
| 0,033 | 0,0171 | 0,033 | 0,00057 | 0,0006 |
| 0,099 | 0,0514 | 0,066 | 0,00340 | 0,0040 |
| 0,132 | 0,0514 | 0,033 | 0,00170 | 0,0057 |
| 0,165 | 0,0514 | 0,033 | 0,00170 | 0,0074 |
| 0,198 | 0,0429 | 0,033 | 0,00142 | 0,0088 |
| 0,231 | 0,0429 | 0,033 | 0,00142 | 0,0102 |
| 0,264 | 0,0514 | 0,033 | 0,00170 | 0,0119 |
| 0,297 | 0,0600 | 0,033 | 0,00198 | 0,0139 |
| 0,330 | 0,0600 | 0,033 | 0,00198 | 0,0159 |
| 0,363 | 0,0686 | 0,033 | 0,00227 | 0,0181 |
| 0,396 | 0,0600 | 0,033 | 0,00198 | 0,0201 |
| 0,463 | 0,1543 | 0,066 | 0,01019 | 0,0303 |
| 0,496 | 1,0113 | 0,033 | 0,03341 | 0,0637 |
| 0,529 | 1,2855 | 0,033 | 0,04247 | 0,1062 |
| 0,562 | 1,3712 | 0,033 | 0,04530 | 0,1515 |
| 0,595 | 1,3455 | 0,033 | 0,04445 | 0,1959 |
| 0,628 | 1,3370 | 0,033 | 0,04417 | 0,2401 |
| 0,661 | 1,2941 | 0,033 | 0,04275 | 0,2828 |
| 0,694 | 1,2855 | 0,033 | 0,04247 | 0,3253 |
| 0,727 | 1,3113 | 0,033 | 0,04332 | 0,3686 |
| 0,760 | 1,0199 | 0,033 | 0,03369 | 0,4023 |
| 0,793 | 0,8313 | 0,033 | 0,02746 | 0,4298 |
| 0,826 | 1,0541 | 0,033 | 0,03482 | 0,4646 |
| 0,859 | 0,7199 | 0,033 | 0,02378 | 0,4884 |
| 0,892 | 0,8742 | 0,033 | 0,02888 | 0,5173 |
| 0,925 | 0,6342 | 0,033 | 0,02095 | 0,5382 |
| 0,958 | 0,6685 | 0,033 | 0,02208 | 0,5603 |
| 0,991 | 0,6171 | 0,033 | 0,02039 | 0,5807 |
| 1,024 | 0,6771 | 0,033 | 0,02237 | 0,6031 |
| 1,057 | 0,6256 | 0,033 | 0,02067 | 0,6237 |
| 1,090 | 0,6342 | 0,033 | 0,02095 | 0,6447 |
| 1,123 | 0,5656 | 0,033 | 0,01869 | 0,6634 |
| 1,156 | 0,5571 | 0,033 | 0,01840 | 0,6818 |
| 1,189 | 0,4799 | 0,033 | 0,01586 | 0,6976 |
| 1,222 | 0,5656 | 0,033 | 0,01869 | 0,7163 |
| 1,255 | 0,5485 | 0,033 | 0,01812 | 0,7344 |
| 1,288 | 0,5314 | 0,033 | 0,01755 | 0,7520 |
| 1,321 | 0,5056 | 0,033 | 0,01670 | 0,7687 |
| 1,354 | 0,5999 | 0,033 | 0,01982 | 0,7885 |
| 1,388 | 0,5742 | 0,033 | 0,01897 | 0,8075 |
| 1,421 | 0,5228 | 0,033 | 0,01727 | 0,8247 |
| 1,454 | 0,4114 | 0,033 | 0,01359 | 0,8383 |
| 1,487 | 0,3771 | 0,033 | 0,01246 | 0,8508 |
| 1,520 | 0,3600 | 0,033 | 0,01189 | 0,8627 |
| 1,553 | 0,3685 | 0,033 | 0,01217 | 0,8749 |

| θ | $E(\theta)$ | $\Delta\theta$ | $E(\theta).\Delta\theta$ | $F(\theta)$ |
|----------|-------------|----------------|--------------------------|-------------|
| 1,586 | 0,3171 | 0,033 | 0,01057 | 0,88542 |
| 1,619 | 0,3342 | 0,033 | 0,01103 | 0,89645 |
| 1,652 | 0,3342 | 0,033 | 0,01103 | 0,90748 |
| 1,685 | 0,3342 | 0,033 | 0,01103 | 0,91851 |
| 1,718 | 0,3342 | 0,033 | 0,01103 | 0,92954 |
| 1,751 | 0,2828 | 0,033 | 0,00933 | 0,93887 |
| 1,784 | 0,3171 | 0,033 | 0,01046 | 0,94934 |
| 1,817 | 0,3000 | 0,033 | 0,00990 | 0,95924 |
| 1,850 | 0,2057 | 0,033 | 0,00679 | 0,96602 |
| 1,883 | 0,1800 | 0,033 | 0,00594 | 0,97196 |
| 1,916 | 0,2057 | 0,033 | 0,00679 | 0,97875 |
| 1,949 | 0,1543 | 0,033 | 0,00509 | 0,98384 |
| 1,982 | 0,0429 | 0,033 | 0,00142 | 0,98526 |
| 2,015 | 0,0857 | 0,033 | 0,00283 | 0,98809 |
| 2,048 | 0,0600 | 0,033 | 0,00198 | 0,99007 |
| 2,081 | 0,1457 | 0,033 | 0,00481 | 0,99488 |
| 2,114 | 0,1371 | 0,033 | 0,00452 | 0,99940 |
| 2,147 | 0,0171 | 0,033 | 0,00056 | 0,99996 |
| 2,180 | 0,0000 | 0,033 | 0,00000 | 0,99996 |

CUADRO A-13 REDISEÑO FLOCULADOR PLANTA 2 -RESUMEN

DATOS:

| | | |
|----------------|-------------------|-------|
| Q DE DISEÑO | m ³ /s | 0,035 |
| TRH Tramo 1 | min | 4,5 |
| TRH Tramo 2 | min | 5,4 |
| TRH Tramo 3 | min | 5,45 |
| V ₁ | m/s | 0,21 |
| V ₂ | m/s | 0,17 |
| V ₃ | m/s | 0,135 |

| | | |
|----------------------------|-------------------------------------|-------|
| ALTURA DE AGUA | m. | 0,65 |
| ANCHO TRAMO 1 | m. | 6 |
| ESPEJOR PANTALLA | m. | 0,006 |
| Coefic. K Vueltas | | 2 |
| Aceleración de la gravedad | m/s ² | 9,8 |
| (P.ESP./μ.) ^{0,5} | m ^{-0,5} s ^{-0,5} | 3115 |
| COEF. η DE RUGOSIDAD | | 0,013 |

| RECORRIDO (m) | | | AREA FLOCULADOR (m ²) | | | ANCHO DE CANALES(m) | | |
|---------------|------|--------|-----------------------------------|-------|-------|---------------------|-------|-------|
| TR1 | TR2 | TR3 | TR1 | TR2 | TR3 | TR1 | TR2 | TR3 |
| 56,7 | 55,1 | 44,145 | 0,167 | 0,206 | 0,259 | 0,256 | 0,317 | 0,399 |

| ANCHO EN LAS VUELTAS (m) | | |
|--------------------------|-------|-------|
| TR1 | TR2 | TR3 |
| 0,385 | 0,475 | 0,598 |

| NUMERO DE CANALES | | |
|-------------------|-----|-----|
| TR1 | TR2 | TR3 |
| 9 | 9 | 7 |

| LONGITUD POR TRAMO (m) | | | H _f , vueltas | | | PERIMETRO DE CANALES(m) | | |
|------------------------|-------|-------|--------------------------|--------|--------|-------------------------|-------|-------|
| TR1 | TR2 | TR3 | TR1 | TR2 | TR3 | TR1 | TR2 | TR3 |
| 2,480 | 2,963 | 2,979 | 0,0380 | 0,0241 | 0,0118 | 1,556 | 1,617 | 1,699 |

| RADIO HIDRAULICO (m) | | | PERDIDA CARGA CANALES | | | GRADIENTE DE VELOCIDAD,s ⁻¹ | | |
|----------------------|-------|-------|-----------------------|--------|--------|--|-----|-----|
| TR1 | TR2 | TR3 | TR1 | TR2 | TR3 | TR1 | TR2 | TR3 |
| 0,107 | 0,127 | 0,153 | 0,0083 | 0,0042 | 0,0017 | 41 | 29 | 20 |

**CUADRO A-14.- CONTROL DE CALIDAD PLANTA 2-IMPERIAL-
PROMEDIO DE ENERO A ABRIL DEL 2003**

MES: ENERO – 2003.

| PARAMETRO | RIO | SEDIMENTADOR | FILTRADA | RESERVORIO |
|--------------------------------------|---------------------------------|--------------------|--------------------|-------------|
| Turbiedad (NTU) | 121,02 | 2,83 | 0,57 | |
| PH | 7,58 | 7,47 | 7,39 | |
| Temperatura °C | 21,3 | 21,5 | 22,4 | |
| Alcalinidad (ppm,) | 110 | 98 | 96 | |
| Conductividad (uS/cm) | 341 | 426 | 467 | |
| Sólidos Totales Disueltos (mg/lt) | 163 | 166 | 166 | |
| Sales (% peso) | 0,1 | 0,2 | 0,2 | |
| Dureza Total (ppm) | 160 | 180 | 200 | |
| Cloro Total (mg/lt) | | | | 1,62 mg /lt |
| Cloro Residual (mg/lt) | | | | 1,56 mg /lt |
| Nitratos (mg/lt) | 5,64 | 5,8 | 5,8 | |
| Sulfatos (mg/lt) | 80 | 100 | 140 | |
| Cloruros (mg/lt) | 90 | 100 | 110 | |
| Aluminio (mg/lt) | | 0,15 | 0,16 | |
| Coliformes Totales | 650 UFC/100ml referencial | 82,00 UFC/100ml | 4,00 UFC/100 ml | |
| Coliformes Fecales | 240 UFC/100ml referencial | 8,00 UFC/100ml | 0,00 UFC/100 ml | |

CUADRO A-14 - Continuación.

MES: FEBRERO-2003.

| PARAMETRO | RIO | SEDIMENTADOR | FILTRADA | RESERVORIO |
|-------------------------------------|------------------------------------|--------------------|-----------------------|--------------|
| Turbiedad (NTU) | 283,21 | 3,04 | 0,61 | |
| PH | 7,72 | 7,62 | 7,43 | |
| Temperatura °C | 21,4 | 21,8 | 21,90 | |
| Alcalinidad (ppm) | 110 | 94 | 92 | |
| Conductividad (uS/cm) | 358 | 418 | 457 | |
| Sólidos Totales Disueltos (mg/l) | 160 | 161 | 164 | |
| Sales (%) | 0,1 | 0,2 | 0,2 | |
| Dureza Total (ppm) | 180 | 200 | 200 | |
| Cloro Total (mg/l) | | | | 1,62 mg /lt. |
| Cloro Residual mg/l) | | | | 1,57 mg /lt. |
| Nitratos (mg/l) | 4,60 | 5,91 | 5,90 | |
| Sulfatos (mg/l) | 90 | 110 | 120 | |
| Cloruros (mg/l) | 80 | 110 | 110 | |
| Aluminio (mg/l) | | 0,17 | 0,18 | |
| Coliformes Totales | 381,00 UFC/100ml referencial | 78,00 UFC/100mL | 6,00 UFC/100 ml | |
| Coliformes Fecales | 160.00 UFC/100ml referencial | 12.00 UFC/100ml | 4.00 UFC/100 ml | |

CUADRO A-14 - Continuación.

MES: MARZO – 2003.

| PARAMETRO | RIO | SEDIMENTADOR | FILTRADA | RESERVORIO |
|-------------------------------------|---------------------|--------------------|------------------------|-------------|
| Turbiedad (NTU) | 133,27 | 2,84 | 0,60 | |
| PH | 7,91 | 7,60 | 7,41 | |
| Temperatura °C | 19,8 | 20,7 | 20,8 | |
| Alcalinidad (ppm) | 110 | 96 | 94 | |
| Conductividad (uS/cm) | 322 | 320 | 441 | |
| Sólidos Totales Disueltos (mg/l) | 135 | 141 | 142 | |
| Sales (%) | 0,1 | 0,2 | 0,2 | |
| Dureza Total (ppm) | 180 | 200 | 200 | |
| Cloro Total (mg/l) | | | | 1,71 mg /lt |
| Cloro Residual (mg/l) | | | | 1,66 mg /lt |
| Nitratos (mg/l) | 4,50 | 4,90 | 5,2 | |
| Sulfatos (mg/l) | 90 | 100 | 120 | |
| Cloruros (mg/l) | 90 | 100 | 100 | |
| Aluminio (mg/l) | | 0.16 | 0.18 | |
| Coliformes Totales | 550,00 UFC/100ml | 74,00 UFC/100ml | 10,00 UFC/100 ml | |
| Coliformes Fecales | 100,00 UFC/100ml | 10,00 UFC/100ml | 2,00 UFC/100 ml | |

CUADRO A-14 - Continaución.

MES: ABRIL- 2003

| PARAMETRO | RIO | SEDIMENTADOR | FILTRADA | RESERVORIO |
|-------------------------------------|------------------------------------|--------------------|---------------------|-------------|
| Turbiedad (NTU) | 25,37 | 1,97 | 0,71 | |
| PH | 7,86 | 7,71 | 7,60 | |
| Temperatura °C | 21,1 | 21,7 | 21,8 | |
| Alcalinidad (ppm) | 110 | 98 | 96 | |
| Conductividad (uS/cm) | 341 | 435 | 442 | |
| Sólidos Totales Disueltos (mg/L) | 135 | 141 | 140 | |
| Sales (%w) | 0,1 | 0,2 | 0,2 | |
| Dureza Total (ppm) | 180 | 200 | 200 | |
| Cloro Total (mg/lt) | | | | 1,42 mg /lt |
| Cloro Residual (mg/lt) | | | | 1,58 mg /lt |
| Nitratos (mg/lt) | 424 | 5,20 | 5,5 | |
| Sulfatos (mg/lt) | 80 | 130 | 130 | |
| Cloruros (mg/lt) | 90 | 100 | 100 | |
| Aluminio (mg/lt) | | 0.15 | 0.15 | |
| Coliformes Totales | 700,00 UFC/100mL referencial | 52,00 UFC/100mL | 14,00 UFC/100 ml | |
| Coliformes Fecales | 200,00 UFC/100ml referencial | 15,00 UFC/100ml | 3,00 UFC/100 ml | |

FUENTE: ARCHIVO DE CONTROL PLANTA DE TRATAMIENTO DE
ALMINARES CONTROL DE CALIDAD EMAPA CAÑETE S.A.

FOTO 1A.- EL DOSIFICADOR DE COAGULANTE POR GRAVEDAD, DE CARGA CONSTANTE, SE ENCUENTRA SIN EL SISTEMA DE REGULACION DE ABERTURA DE ORIFICIO.





FOTO 2A.- DIFUSOR DEL COAGULANTE:
DOSIS VARIA CON LA ABERTURA ARBITRARIA DE VALVULA DE PVC. AGUAS ARRIBA DEL PUNTO DE DOSIFICACION EL GRADIENTE DE VELOCIDAD ES MAYOR.

FOTO 3A.-SEGUNDO TRAMO DEL FLOCULADOR, EN EL CUAL HAN SIDO RETIRADAS ALGUNAS PANTALLAS DESTRUIDAS.



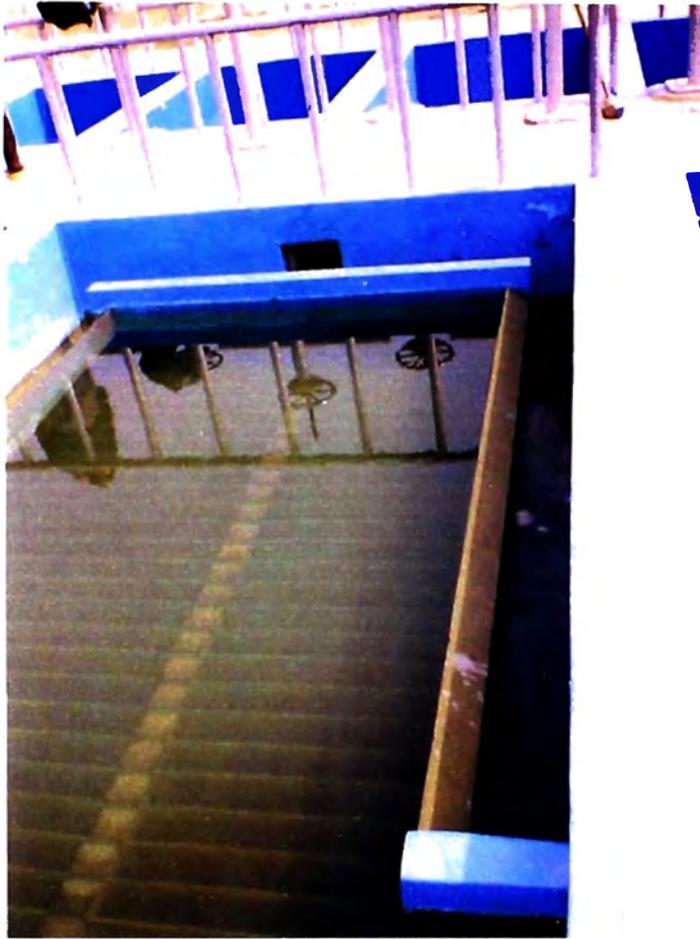


FOTO 4A.-DECANTADOR DE PLACAS: CANALETAS DE RECOLECCION Y COMPUERTA DE SALIDA DE AGUA DECANTADA. VERTEDEROS DE CANALETAS MUESTRAN DESNIVEL CON LA HORIZONTAL.

FOTO 5A.- CANAL DE DISTRIBUCION DE AGUA DECANTADA A FILTROS: NIVEL DEL VERTEDERO DETERMINA LA PROFUNDIDAD DE LA CAJA DE FILTROS.



**FOTO 6A.-LOZA SOBRE CANAL DE DISTRIBUCION DE AGUA
DECANTADA:
VASTAGOS EN ALTO DE COMPUERTAS INGRESO FILTROS
VASTAGOS DE COMPUERTAS SALIDA DE AGUA DE
LAVADO EN POSICION DE CIERRE.**



**FOTO 7A.-VARILLA METALICA CON CAJITAS SOLDADAS PARA
MEDICION DE % EXPANSION DE ARENA DURANTE
LAVADO.**



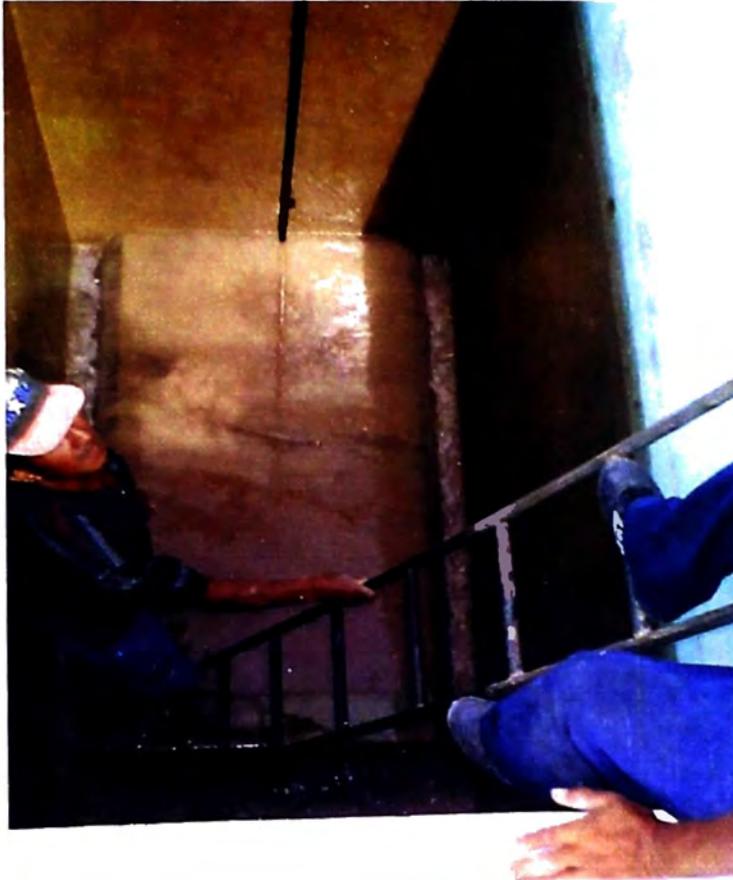


FOTO 8A.-LAVADO DE UN FILTRO CON FLUJO ASCENDENTE. (LAVADO MUTUO EN BATERIA DE FILTROS).



FOTO 9A.- FILTRO RECIEN LAVADO: SE OBSERVA EL INGRESO DE AGUA DECANTADA (COMPUERTA DE ENTRADA).

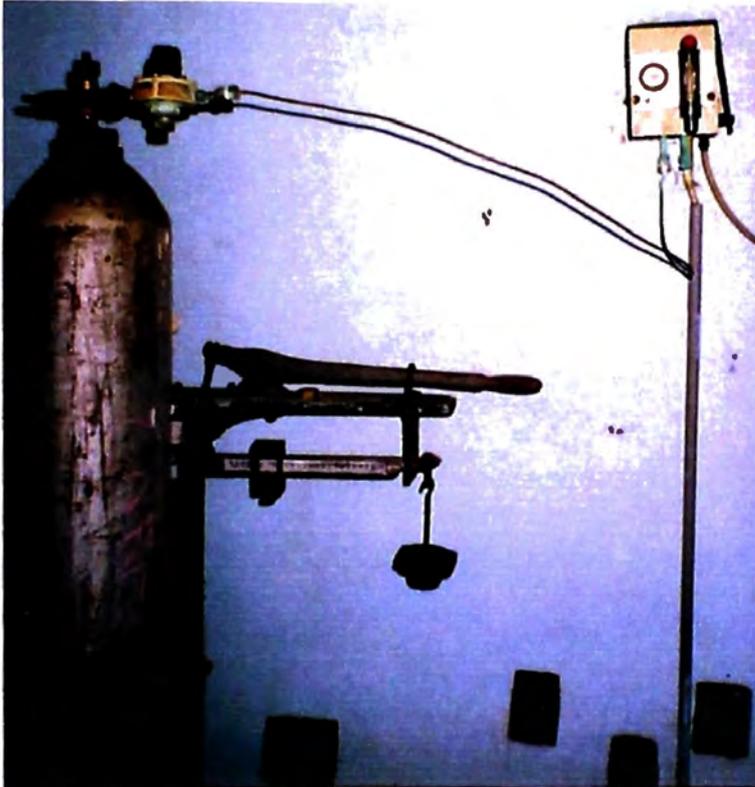


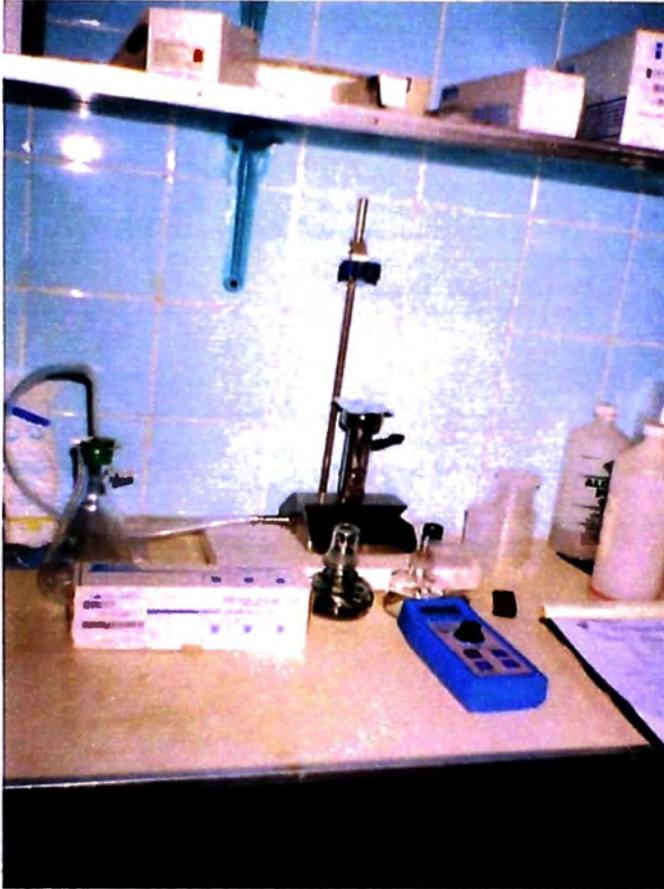
FOTO 10A.-
CLORADOR DE
OPERACIÓN CON
EYECTOR:
LAS PARTES
METALICAS NO
LLEVAN
PROTECCION
ANTICORROSIVA.



FOTO 11A.-
ESTACION DE
CLORACION:
CILINDROS DE
CLORO (DE 67 Kg.)
EN RESERVA SIN
CADENAS DE
SEGURIDAD.

FOTO 12-A: RESERVORIO DE AGUA CLORADA (198 m³ de Capacidad)





**FOTO 13-A.-
LABORATORIO QUIMICO
EN PLANTA:
KIT PARA
DETERMINACION DE
COLIFORMES TOTALES Y
COLIFORMES FECALES
DEL AGUA PRODUCIDA.**

FOTO 14-A.- LABORATORIO QUIMICO EN PLANTA:

- EQUIPO DE PRUEBA DE JARRAS.
- KIT PARA DETERMINACION DE CLORO RESIDUAL.

