



**Proyecto ejecutivo:  
PLANTA DE TRATAMIENTO DE  
FRAY MARCOS**

**MANUAL DE OPERACIÓN, MANTENIMIENTO y CONTROL**



<b>Revisión</b>	<b>Fecha</b>	<b>Responsables elaboración</b>	<b>Responsable de aprobación</b>	<b>Comentarios</b>
1	19/10/2018	A. Lanfranchi		



## INDICE

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>INTRODUCCIÓN Y DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES .....</b>	<b>3</b>
2.1.	OBJETIVOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES .....	3
2.1.1.	CONTAMINANTES OBJETIVO.....	3
2.2.	CONCEPTOS GENERALES DEL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS .....	5
2.3.	PARTICULARIDADES PTAR FRAY MARCOS .....	6
2.3.1.	CONFIGURACIÓN .....	6
2.3.2.	AIREACIÓN EXTENDIDA DE TIPO ESCALONADA.....	6
2.3.3.	ELIMINACIÓN DE NUTRIENTES: NITRÓGENO (N) .....	6
2.3.4.	ELIMINACIÓN DE NUTRIENTES: FÓSFORO (P).....	7
2.3.5.	CONTROL DE OLORES .....	7
2.3.6.	DESHIDRATACIÓN DE LODOS .....	8
2.3.7.	UNIDADES ACCESORIAS Y COMPLEMENTARIAS .....	8
2.4.	PARÁMETROS DEL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS.....	8
<b>3.</b>	<b>CALIDAD OBJETIVO PARA LA PTAR FRAY MARCOS .....</b>	<b>10</b>
<b>4.</b>	<b>PROCEDIMIENTOS PARA EL ARRANQUE.....</b>	<b>12</b>
4.1.	INSPECCIÓN GENERAL DE LAS UNIDADES .....	12
4.2.	REJA MANUAL Y DESARENADOR .....	12
4.3.	ESTACIONES DE BOMBEO EB1.....	12
4.4.	REACTOR INTEGRADO (RIAEN).....	13
4.5.	CANAL DE DESINFECCIÓN UV .....	14
4.6.	EMISARIO A RÍO SANTA LUCÍA.....	15
<b>5.</b>	<b>OPERACIÓN, CONTROL Y CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE LA PTAR FRAY MARCOS.....</b>	<b>16</b>
5.1.	DESCARGA DE BAROMÉTRICAS .....	16
5.2.	REJAS DE LIMPIEZA MANUAL.....	16
5.3.	DESARENADOR .....	17
5.4.	ESTACIÓN DE BOMBEO EB1 .....	17
5.5.	REACTOR INTEGRADO (RIAEN) – CELDAS Y SEDIMENTADOR SECUNDARIO .....	18
5.5.1.	CONTROL DE OXÍGENO DISUELTTO .....	18
5.5.2.	DETERMINACIÓN DEL PERFIL DE OD EN REACTOR AEROBIO .....	19
5.5.3.	DETERMINACIÓN DE OD PARA CONTROL DE RUTINA .....	19
5.5.4.	CONTROL DE LA PRODUCCIÓN DE LODO .....	19
5.5.5.	RECIRCULACIÓN DE LODOS .....	20
5.5.6.	RECIRCULACIÓN DE DENITRIFICACIÓN (LICOR MEZCLA) .....	21
5.5.7.	CONTROL DE LOS SEDIMENTADORES SECUNDARIOS .....	21
5.5.8.	DOSIFICACIÓN DE CLORURO FÉRRICO (PRECIPITACIÓN DE P) .....	21
5.5.9.	CUIDADOS GENERALES EN LA OPERACIÓN.....	22
5.5.10.	CÁMARA DE BOMBAS EB2 .....	24
5.6.	CANAL DE DESINFECCIÓN UV .....	25
5.7.	SISTEMA DE DOSIFICACIÓN DE CLORURO FÉRRICO .....	25

5.8.	SISTEMA DE DESHIDRATACIÓN DE LODOS .....	26
5.9.	SISTEMA DE REÚSO DE AGUA .....	27
5.10.	ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE .....	28
5.11.	SISTEMA DE HIDRANTES DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIO.....	28
<b>6.</b>	<b>CÁLCULO DE PARÁMETROS DE CONTROL DEL PROCESO .....</b>	<b>29</b>
6.1.	INTRODUCCIÓN.....	29
6.2.	CÁLCULO DE LA RECIRCULACIÓN DE LODOS .....	29
6.2.1.	EJEMPLO DE CÁLCULO .....	30
6.3.	CÁLCULO DE LA RECIRCULACIÓN DE LICOR MEZCLA (DENITRIFICACIÓN).....	31
6.3.1.	EJEMPLO DE CÁLCULO .....	31
6.4.	CÁLCULO DEL ÍNDICE VOLUMÉTRICO DE LODOS .....	32
6.4.1.	EJEMPLO DE CÁLCULO .....	33
6.5.	CÁLCULO DE LA RELACIÓN F/M (ALIMENTO/MICROORGANISMOS).....	33
6.5.1.	EJEMPLO DE CÁLCULO .....	33
6.6.	CÁLCULO DE PURGA DE LODOS.....	34
6.6.1.	EJEMPLO DE CÁLCULO .....	35
6.7.	CÁLCULO DE DOSIFICACIÓN DE CLORURO FÉRRICO.....	36
6.7.1.	EJEMPLO DE CÁLCULO .....	37





## 1. INTRODUCCIÓN

El siguiente documento constituye el Manual de Operación, Mantenimiento y Control para la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de Fray Marcos.

El manual se estructura en los siguientes capítulos:

- Capítulo 2. Introducción y descripción general del tratamiento de aguas residuales; en donde se incluye una reseña de los procesos biológicos de tratamiento, más precisamente del proceso de lodos activados en la modalidad de aireación extendida, el seleccionado para la PTAR Fray Marcos. En esa línea se incluye una descripción general de las unidades generalmente presentes en este tipo de tratamientos y su función, así como de los parámetros físico-químicos y bacteriológicos de control y monitoreo del proceso.
- Capítulo 3. Objetivo de calidad del efluente de la PTAR Fray Marcos; se hace mención a la normativa nacional vigente para efluentes y cursos de agua, y se establecen los objetivos de calidad efluente a cumplir para la presente planta.
- Capítulo 4. Descripción de las unidades de la PTAR Fray Marcos; se realiza una descripción de las unidades componentes de la de la planta, sus principales características y su función en el proceso de tratamiento. Para cada unidad se incluye su ubicación en el layout general de la planta así como el procedimiento a seguir para la inspección inicial de las mismas previo a su puesta en funcionamiento.
- Capítulo 5. Procedimientos para el arranque; se establecen los principales lineamientos a seguir para el arranque de la planta e inspección inicial de las distintas unidades de la misma.
- Capítulo 6. Operación, control y criterios de evaluación de la PTAR Fray Marcos; incluye las tareas de rutina a realizar por parte de los operarios de modo de garantizar la operación satisfactoria de la planta. Entre otras, se incluyen las tareas de inspección y mantenimiento de las distintas unidades, la muestra y determinación de parámetros, cálculos básicos de bombeos de purga y recirculación así como de la operación de purga de lodos, utilización de planillas de seguimiento y control, criterios de evaluación del funcionamiento, etc.
- Capítulo 7. Guía de resolución de problemas y Plan de contingencias; se adjunta en formato de tabla los problemas comúnmente encontrados en este tipo de procesos (lodos activados modalidad aireación extendida), sus posibles causas y las acciones a adoptar para su resolución. Se incluye también un plan de contingencias para hacer frente a situaciones atípicas en el funcionamiento de la planta (corte de energía, inundaciones, ingreso de aceites minerales u otros elementos tóxicos, eventos de lluvia)

Asimismo, complementan el presente documento los siguientes dos manuales que se deberán a anexar al presente:

- Manual de Operación y Mantenimiento del Equipamiento Electromecánico, en el cual se define y establece la metodología para la operación y mantenimiento del equipamiento electromecánico de la PTAR Fray Marcos;
- Manual del Sistema de Control y Monitoreo Remoto - SCADA, en el cual se describen las prestaciones y principales interfaces (mímicos) del sistema SCADA instalado para la operación y control de la planta.





## 2. INTRODUCCIÓN Y DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

### 2.1. Objetivos del tratamiento de aguas residuales

La disposición de los líquidos residuales crudos (sin tratamiento) o pretratados (rejas y desarenador) en el suelo o cuerpos receptores naturales como ríos, lagunas, océanos constituye una alternativa comúnmente empleada en el pasado, existiendo hoy en día zonas que mantienen esta práctica.

Dependiendo de la carga orgánica vertida, los líquidos residuales provocan la total degradación del medio receptor, o bien éste demuestra tener capacidad de recibir y depurar los contaminantes presentes sin alcanzar niveles en sus parámetros de calidad que comprometan el uso del mismo (cualquiera sea éste) o bien el ecosistema que en él se desarrolla.

Esto demuestra que la naturaleza tiene condiciones de desarrollar un tratamiento de los líquidos residuales, siempre y cuando no exista una sobrecarga y de que haya buenas condiciones ambientales que permitan la evolución, reproducción y crecimiento de los organismos que descomponen la materia orgánica.

En síntesis, el tratamiento biológico de los líquidos residuales se trata de un fenómeno que puede ocurrir naturalmente tanto en suelo como en el agua, siempre y cuando predominen las condiciones apropiadas.

Una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), o también estación de tratamiento de efluentes (ETE), no es más que un sistema que reproduce los mecanismos de depuración que tienen lugar naturalmente en el suelo y las aguas.

En las plantas de tratamiento se optimizan los procesos físicos y bioquímicos así como los costos que ello implica, haciendo un uso intensivo del área y procurando conseguir la mayor eficiencia posible, a la vez que se respetan las restricciones o exigencias de la normativa con el objeto de proteger el cuerpo receptor (ecosistema) y no afectar los usos que el hombre realiza del mismo.

#### 2.1.1. Contaminantes objetivo

En el punto anterior se mencionaba el hecho de que el vertimiento de las aguas residuales en un cuerpo provoca la degradación del mismo, ya sea esta total o parcial; esto significa que lo inhabilita para el uso que se hace del mismo así como para sostener el ecosistema que en él se desarrolla. Como se mencionara, la degradación que tiene lugar varía con las características del cuerpo receptor así como la cantidad de materia orgánica vertida.

La degradación se produce debido a la presencia de contaminantes en el líquido residual, los cuales reaccionan con otros compuestos presentes en el agua así como generan transformaciones o modificaciones en las mismas.

Por tanto, el tratamiento de las aguas residuales tiene por objeto la remoción de estos contaminantes a los niveles establecidos por la normativa, considerados seguro para su vertido al cuerpo receptor.

En las aguas residuales de origen doméstico, generalmente no existe una variación significativa en lo que refiere a su composición (contaminantes presentes), manteniéndose aproximadamente constante no presentando variaciones estacionales y/o diarias.

En estos casos, los principales contaminantes objetivos y sus efectos en el cuerpo receptor son los siguientes:

- **Materia orgánica (MO)**, básicamente viene dada por compuestos (cadenas o complejos) de Carbono (C) y Nitrógeno (N). Las principales causas que tiene un vertimiento de MO en el cuerpo receptor es el consumo del oxígeno disuelto en el mismo, consecuencia de la síntesis bacteriana que utiliza la

MO para su crecimiento. El parámetro de calidad que mide el tenor de MO de un efluente es la DBO (o en su defecto la DQO) en el caso de la materia orgánica carbonosa (complejos de Carbono principalmente) así como el Nitrógeno Kjeldhal Total, también NKT, en el caso de una fuerte presencia de compuestos nitrogenados (complejos de Nitrógeno principalmente).

- **Presencia de Sólidos (S)**, y dentro de éstos, presentan particular importancia los Sólidos Suspendidos y los Sólidos Sedimentables (SS y SSed), los cuales son pasibles de sedimentar en el cuerpo receptor. Las causas de un vertimiento excesivo de sólidos en el cuerpo receptor es la afectación de la penetración de la luz solar al mismo (aumento de turbiedad) y por tanto la afectación de la capa fótica del mismo (profundidad en la que se desarrolla actividad fotosintética), esencial para el soporte del ecosistema que se desarrolla en el cuerpo. A su vez, los sólidos suspendidos sedimentables, una vez que se encuentran en aguas tranquilas, de baja velocidad de escurrimiento, se depositan en el fondo del cuerpo receptor, afectando la denominada zona bentónica, muy activa biológicamente y que cumple un rol primordial en el ecosistema del cuerpo receptor. El parámetro de calidad que mide el tenor de sólidos en la clasificación o tipo de mayor interés para el tratamiento de las aguas residuales son los Sólidos Suspendidos Totales (SST), dentro de los cuales encontramos los SS Volátiles (SSV) – de origen o naturaleza biológica – y los SS Fijos (SSF) de origen o naturaleza inorgánica. También resulta de interés la determinación de los Sólidos Sedimentables (SSed), que mide la cantidad de sólidos que sedimentan por espacio de 1 hora en el Cono Imhoff.
- **Aceites y Grasas (AyG)**, compuestos que provienen principalmente de la utilización de aceites en cocinas y actividades de procesamiento de alimentos, así como de los propios alimentos, así como aceites minerales (lubricantes). Las causas de un vertimiento de excesivo de esta sustancia en el cuerpo receptor es por un lado el aspecto visual que genera en el mismo, al no ser miscible con el agua. Asimismo, al presentar una menor densidad que el agua, se sitúa en la superficie del cuerpo receptor e impide el intercambio de oxígeno de éste con la atmósfera (oxigenación), con las implicancias que trae una disminución del OD en el cuerpo de agua.
- **Nutrientes, básicamente Fósforo (P) y Nitrógeno (N)**, compuestos aportados durante los diversos usos que el hombre realiza del agua. En particular, el grueso del aporte de fósforo viene dado por empleo de detergentes y/o jabones líquidos comúnmente empleados en las tareas de limpieza doméstica, mientras que el nitrógeno es un componente de la materia orgánica (conjuntamente con el C). Estos compuestos se denominan nutrientes, los cuales si bien se encuentran naturalmente en cuerpos de agua naturales, lo hacen en cantidades limitantes (especialmente el P). Un exceso de los mismos producto de la actividad humana provoca un aumento de la disponibilidad de uso por parte de la flora (micro y macro) del cuerpo receptor, generando lo que se conoce con el nombre de “bloom” de algas y macrofitas (plantas acuáticas), que implica un crecimiento explosivo y en grandes cantidades de vegetación acuática. La remoción de estos compuestos durante el tratamiento toma particular relevancia cuando el cuerpo receptor es de los denominados lénticos, o sea de tipo lagos y embalses, en los cuales existen muy bajas velocidades de escurrimiento que propician el crecimiento de la flora. Los inconvenientes que trae consigo la presencia excesiva de algas y macrofitas son de diversa índole, cabiendo mencionar los siguientes: dificultades y complicaciones en el tratamiento del agua (potabilización) proveniente de ese cuerpo receptor, estéticos, afectación del ecosistema (capa fótica, variaciones en pH y OD). Complementario a lo anterior, también la presencia de nitrógeno en forma de amonio (NH<sub>3</sub>) produce complicaciones en la potabilización de agua.
- **Microorganismos patógenos**, cuya presencia es natural y obvia dado el origen del agua residual (doméstica). El rótulo de patógenos viene dado por el hecho de que éstos transmiten enfermedades de transmisión hídrica, es decir ya sea por ingesta o contacto con el agua. El parámetro que caracteriza el grado de presencia de microorganismos de este tipo son los Coliformes Fecales (CF). Estrictamente este parámetro determina la presencia de líquido residual de origen cloacal, es decir de origen humano; la presencia o no de microorganismos del tipo patógenos dependerá en última



instancia de la salud de la población que da origen a ese líquido residual. Así, por un tema probabilístico a mayor presencia de CF, mayores posibilidades de existencia de microorganismos patógenos en el medio.

## **2.2. Conceptos generales del proceso de lodos activados**

El proceso de lodos activados, en cualquiera de sus modalidades, es un tratamiento del tipo biológico, y el mismo consiste en promover el desarrollo de una población microbiológica o biomasa (bacterias), las cuales forman flóculos en suspensión, tipo colonias, los cuales también se denominan lodos.

Las bacterias que dan origen a los flóculos o lodos se encuentran naturalmente presentes en el agua residual afluyente a la ETE, sólo que en una menor cantidad. Este tipo de tratamiento promueve el desarrollo y crecimiento de estas bacterias suministrando materia orgánica, nutrientes y oxígeno en cantidades adecuadas, y garantizando la permanencia de las mismas en el sistema (reactor o tanque de aireación) mediante recirculaciones internas de los lodos ya generados, independizando el tiempo de retención de los microorganismos en el sistema (tiempo de retención celular), del tiempo de retención hidráulico o de tránsito a través de las distintas unidades.

Por este motivo se denomina el proceso “lodos activados”, ya que se cultivan o “activan” (también sembrado o “seeding”) las bacterias existentes mediante colonias ya formadas y adaptadas a las características y condiciones de la planta.

El desarrollo y crecimiento de los flóculos en suspensión o colonias de bacterias ocurre en un tanque de aireación (reactor) especialmente diseñado a tales efectos, el cual es alimentado por el agua residual de la red de colectores, conteniendo materia orgánica y nutrientes necesarios para el crecimiento de las bacterias, y en el cual se inyecta aire mecánicamente el cual es utilizado por las bacterias para la oxidación (estabilización) de la materia orgánica.

La inyección de aire, además de proporcionar oxígeno a las bacterias, tiene por finalidad mantener los flóculos bacterianos en suspensión y en condiciones de mezcla completa, es decir una masa homogénea en todo el volumen del reactor. A la mezcla de flóculos biológicos y el agua dentro del tanque se le denomina licor mezcla.

El licor mezcla transita por el volumen del reactor y es enviado en forma continua hacia los sedimentadores (llamados también sedimentadores secundarios), cuyo cometido es realizar la separación por acción de la gravedad de los lodos generados (separación sólido líquido).

Generalmente los lodos se concentran en el fondo de los sedimentadores, en tolvas proyectadas a tales efectos, y son recirculados al reactor con el objetivo de mantener la concentración de los microorganismos y su crecimiento (“activación”); esta recirculación se denomina recirculación de lodos. La concentración de microorganismos en el reactor guarda una cierta relación con la carga orgánica afluyente a la planta (relación alimento / microorganismos, F/M por sus siglas en inglés), establecida en las hipótesis de proyecto.

El sobrenadante o líquido clarificado del sedimentador es el efluente tratado, el cual es apto para su descarga en el cuerpo receptor previa desinfección (química, UV u otra).

Dado que el hecho de recircular lodos en el sistema infinitamente llevaría a un exceso de los mismos que causaría el deterioro de la calidad del efluente clarificado, una vez que se alcanzan los valores de proyecto para la concentración de sólidos en el reactor (licor mezcla) es necesario proceder a extraer o purgar el lodo en exceso.

Generalmente por conveniencia la purga de lodos se realiza desde la línea de recirculación de lodos hacia el reactor, ya que al estar los mismos concentrados para una cantidad diaria de sólidos a purgar (Kg sólidos) el volumen es significativamente menor (m<sup>3</sup> lodo).

El lodo purgado usualmente es enviado a un sistema de deshidratación, cuyo cometido es disminuir el contenido de agua del mismo (cerca del 80%), reduciendo su volumen y facilitando su manejo, transporte y disposición final. Puede ocurrir, como lo es el caso de un sistema de lodos activado convencional, que previo al sistema de deshidratación sea necesario intercalar una etapa de digestión del lodo, con el objetivo de disminuir el contenido de materia orgánica del mismo.

### **2.3. Particularidades PTAR Fray Marcos**

La PTAR Fray Marcos consiste en un proceso de lodos activados en la modalidad de aireación extendida del tipo escalonada (decreciente) con eliminación de nutrientes (denitrificación y eliminación de fósforo). Por tanto, además de cumplir con las características descritas en el punto anterior, presenta las particularidades que a continuación se describen.

#### **2.3.1. Configuración**

La planta cuenta con 2 unidades principales, las cuales comprenden en un mismo volumen, el reactor anóxico y aerobio, así como el sedimentador secundario, a semejanza de lo que sería una planta de tratamiento modular o transportable.

Se logra así compacidad en el layout de la planta, concentrando la totalidad del proceso biológico en una única unidad.

#### **2.3.2. Aireación extendida de tipo escalonada**

La denominación de aireación extendida hace referencia al tiempo de retención celular en el sistema, el cual es del orden de 25 días, teniendo en cuenta que un sistema de lodos activados convencional se diseña con un tiempo de retención celular comprendido entre 5 y 9 días, dependiendo se quiera o no realizar nitrificación.

Esto hace que el lodo purgado ya se encuentre estabilizado, con un contenido de materia orgánica del entorno del 60% (relación sólidos volátiles sobre los sólidos totales en el entorno de 0.60).

El sistema de aireación mecánica proyectado para la ETE consiste en compresores de lóbulos rotativos (tipo "roots"), los cuales alimentan grillas de difusores de membrana, o también difusores de membrana de burbuja fina.

Como se mencionara, se trata de un sistema de aireación del tipo escalonado, por el hecho de que la densidad de difusores disminuye a lo largo del reactor en el sentido del flujo, y en consecuencia disminuye el gasto másico de aire entregado a la masa líquida.

El reactor aerobio se encuentra compartimentado en 3 celdas, en donde cada celda cuenta con una grilla de difusores cuya cantidad (densidad) varía.

La grilla de mayor densidad se encuentra en la celda inicial, mientras que la de menor densidad se encuentra en la última celda, previo pasaje al sedimentador secundario.

#### **2.3.3. Eliminación de nutrientes: Nitrógeno (N)**

La planta fue proyectada para realizar eliminación de nutrientes, es decir nitrógeno (N) y fósforo (P). La eliminación de N – proceso denominado denitrificación – se realiza biológicamente mediante bacterias.



Por su parte, la remoción de P se realiza por la acción conjunta de la síntesis biológica (en menor proporción), así como por medios químicos (en mayor proporción) mediante aplicación de sales metálicas, en este caso cloruro férrico ( $\text{FeCl}_3$ ).

La denitrificación proyectada para la PTAR Fray Marcos es una denitrificación de “cabecera”, en la cual el líquido aireado - con un alto contenido de nitratos (nitrificado) – es recirculado hacia el extremo de ingreso al reactor, conjuntamente con el líquido residual crudo.

Previo a la celda aerobia inicial, se proyectó una celda una celda anóxica (ausencia de oxígeno libre, bajo la forma de  $\text{O}_2$ ), la cual se encuentra separada de la celda aerobia inicial mediante un tabique.

La celda anóxica está provista de mezcladores sumergibles (mixers), cuyo objetivo es generar las condiciones de mezcla completa (homogénea) que favorezca el adecuado desarrollo del proceso, así como mantener la biomasa en suspensión.

Como se mencionara, en esta celda ocurre el ingreso de agua residual cruda – pasada por rejillas y desarenador – además del líquido aireado con alto contenido de nitratos. Dado que en esta zona no ocurre aireación ninguna, la mezcla resultante (agua residual cruda y líquido aireado) presenta bajo contenido de oxígeno disuelto, muy próximos a cero, ya que el mismo es rápidamente consumido.

Estas condiciones favorecen el crecimiento y desarrollo de bacterias anóxicas, las cuales son capaces de metabolizar la materia orgánica presente en ausencia de oxígeno libre. Para ello, utilizan el oxígeno combinado bajo la forma de nitrato ( $\text{NO}_3$ ), el cual se encuentra en abundancia en el reactor anóxico producto de la recirculación de líquido aireado (licor mezcla).

El nitrato, al ser utilizado por las bacterias (“respirado”), se transforma (reduce) en nitrógeno gas  $\text{N}_2$  (gas), que se libera a la atmósfera y por tanto eliminado del sistema (línea de tratamiento).

#### **2.3.4. Eliminación de nutrientes: Fósforo (P)**

Como se mencionara en el punto anterior, la remoción de P se realiza en mayor proporción por medios químicos mediante aplicación de sales metálicas, en este caso cloruro férrico ( $\text{FeCl}_3$ ), el cual provoca la precipitación química – formación de un compuesto insoluble en agua – de las diversas especies de fósforo bajo la forma de ortofosfato.

La dosificación se realiza en la tubería de ingreso al sedimentador secundario desde la celda aerobia 3, en donde se tiene un régimen turbulento que favorece la reacción del químico con la masa líquida (mezcla rápida).

El compuesto insoluble generado en la reacción químico, sedimenta en el sedimentador secundario, desde donde es purgado hacia el sistema de deshidratación de lodos (lechos de secado) conjuntamente con el lodo biológico.

#### **2.3.5. Control de olores**

En el tratamiento de tipo aerobio no es común la ocurrencia de olores; en caso se perciba, estos se hacen presentes en las instalaciones de cabecera de planta, como lo son rejillas de desbaste, instalaciones de descarga de barométricas, y pozo de bombeo de cabecera.

La presencia de olores viene dada por las características del líquido residual proveniente desde la red de saneamiento, siendo la principal variable la permanencia del líquido en el sistema previo a su bombeo a la planta. Un tiempo de residencia prolongado, genera condiciones sépticas en el líquido, que ocasiona la formación de sulfuros, a partir de los sulfatos presentes en el agua residual (reducción).

Los efluentes barométricos, por estar sometidos a un tratamiento de tipo anaerobio con prolongado período de retención, también son pasibles de contener sulfuros, que al ser manipulados y/o descargados en las instalaciones, se volatilizan en el ambiente, generando olores.

La PTAR Fray Marcos cuenta con un sistema de control de olores que consiste en la dosificación de solución de cloruro férrico (misma solución que la empleada en la precipitación de P), para precipitación de los sulfuros.

La dosificación se realiza en la descarga de la impulsión proveniente de la localidad, en el registro inmediatamente exterior a la PTAR.

### **2.3.6. Deshidratación de lodos**

Por la escala de la planta, así como las características del proceso, el sistema seleccionado para la deshidratación de los lodos (reducción de volumen) es un lecho de secado.

Los lodos purgados son bombeados a un tanque satélite, que permite uniformizar la calidad del lodo a deshidratar, y realizar una purga de sobrenadante (concentrado adicional) previo a su descarga en los lechos para deshidratación.

### **2.3.7. Unidades accesorias y complementarias**

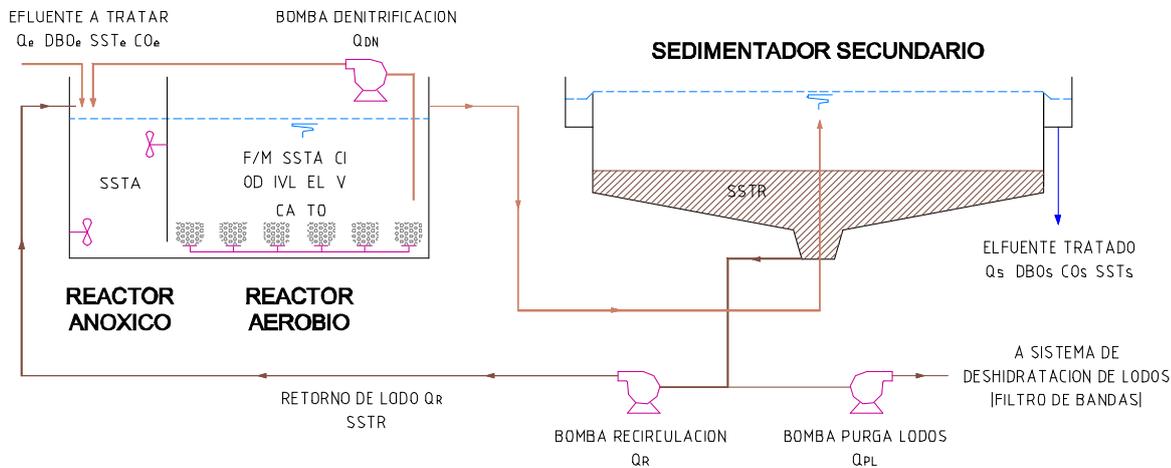
Además de las unidades propias del sistema de lodos activados, la PTAR Fray Marcos cuenta con las siguientes unidades accesorias que en conjunto permiten dar cumplimiento a la calidad objetivo establecida para el efluente tratado:

- Canal de rejillas de limpieza manual;
- Infraestructura de descarga de barométricas – sector de descarga provisto de conexión con acople rápido, y reguera de piso para captación de pérdidas y/o aguas de lavado;
- Canal desarenador de flujo horizontal;
- Estación de bombeo de levante, desde donde se alimentan los reactores;
- Cámara seca y sector de bombas de proceso – bombas de recirculación de lodos, bombas de purga de lodos, y bombas de recirculación de licor mezcla (denitrificación);
- Canal de desinfección UV;
- Sistema de reúso de agua tratada (riego);
- Sistema de abastecimiento de agua potable e instalación contra incendio;
- Sistema de dosificación de cloruro férrico (precipitación de P y control de olores);
- Sistema de purga de espumas;
- Emisario de efluente tratado al Río Santa Lucía;

La descripción y principales características de estas unidades se detallan en los capítulos correspondientes, así como en los planos de proyecto.

## **2.4. Parámetros del proceso de lodos activados**

La siguiente figura esquematiza el proceso de lodos activados con denitrificación de “cabeza”, indicando los principales parámetros de operación y control del proceso en los diferentes puntos así como las entradas, salidas y recirculaciones internas del sistema.



A continuación se describen los parámetros indicados en el esquema anterior:

- $Q_E$  caudal de entrada a la planta, en  $m^3/d$  (también  $m^3/h$  o  $L/s$ )
- $Q_S$  caudal de salida de la planta, en  $m^3/d$  (también  $m^3/h$  o  $L/s$ )
- $Q_R$  caudal de recirculación de lodos, en  $m^3/d$  (también  $m^3/h$  o  $L/s$ )
- $Q_{DN}$ , caudal de recirculación de licor mezcla o líquido nitrificado (aireado), en  $m^3/d$  (también  $m^3/h$  o  $L/s$ )
- $Q_{PL}$  caudal de purga de lodos, en  $m^3/d$  (también  $m^3/h$  o  $L/s$ )
- $DBO_e$ , demanda bioquímica de oxígeno en la entrada a la planta, en  $mg/L$
- $DBO_s$ , demanda bioquímica de oxígeno en la salida a la planta, en  $mg/L$
- $CO_e$ , carga orgánica a la entrada a la planta, en  $Kg/d$ . Este parámetro se determina como el producto de la concentración de  $DBO$  a la entrada y el caudal de entrada.
- $CO_s$ , carga orgánica a la salida de la planta, en  $Kg/d$ . Este parámetro se determina como el producto de la concentración de  $DBO$  a la salida y el caudal de salida.
- $CA$ , capacidad de aireación del sistema de aire, en  $Kg O_2/d$ .
- $TA$ , tasa de aireación del sistema, en  $Kg O_2/Kg DBO$ . La tasa de aireación consiste en la relación entre el aire otorgado por el sistema ( $CA$ ) y la carga orgánica a la entrada del tanque de aireación ( $CO_e$ ), ambos expresados en la misma base temporal (diaria, u otra predeterminada)
- $SSTA$ , sólidos suspendidos totales en el tanque de aireación, en  $mg/L$ ; mismo parámetro y valor numérico se tiene en la celda anóxica.
- $F/M$  relación alimento/microorganismos (food to microorganism ratio, por sus siglas en inglés). Expresa la relación entre la carga orgánica aplicada al reactor ( $CO_e$ ) en una base diaria, y la masa de microorganismos presentes en el mismo ( $SSTA$ ); las unidades resultantes son  $Kg DBO/Kg SSTA/d$ .
- $CI$  hace referencia al ensayo de Cono Imhoff, y mide el volumen de lodo presente el licor mezcla del tanque de aireación, que sedimenta en una hora. Se expresa en  $mL/L$ .
- $OD$ , oxígeno disuelto en el tanque de aireación, en  $mg/L$ .
- $SSTR$ , sólidos suspendidos totales en el sedimentador secundario y línea de recirculación de lodos
- $SST_e$ , sólidos suspendidos totales a la entrada a planta
- $SST_s$ , sólidos suspendidos totales a la salida de la planta

- EL (generalmente se expresa como  $\theta C$ ), edad del lodo, parámetro que representa el tiempo medio que una partícula permanece en el sistema. Puede ser estimada como la masa de sólidos existente en el tanque de aireación (SSTA) dividido la cantidad diaria de lodo purgada. Se expresa en días, y para un sistema de lodos activados en la modalidad de aireación extendida se sitúa en el orden de 25 días.
- IVL, índice volumétrico de lodos, representa el volumen en mL de lodo ocupado por un gramo de sólidos suspendidos (mL/g). Se obtiene como el cociente entre el valor del resultado del ensayo de Cono Imhoff (mL/L) y los sólidos suspendidos en el tanque de aireación (SSTA, mg/L). Este índice representa un indicador de la estructura y características de sedimentabilidad del flóculo biológico formado.

La utilización de estos parámetros y su cálculo para el caso de la PTAR Fray Marcos, se desarrolla en el Capítulo 6.

### 3. CALIDAD OBJETIVO PARA LA PTAR FRAY MARCOS

La normativa vigente que regula los valores de los parámetros para los cursos de agua así como para la descarga de efluentes o vertidos a un cuerpo receptor es el Decreto 253/79.

En el caso particular de la cuenca del Río Santa Lucía, aplican además los parámetros y medidas complementarias establecidas en la Resolución Ministerial RM 966/2013, que se enmarca en el Plan de Acción para la Protección de la Calidad Ambiental y la Disponibilidad de las Fuentes de Agua Potable en la Cuenca del Río Santa Lucía.

Dicho plan tiene por objetivo específico limitar el aporte de nutrientes al Río Santa Lucía (N y P), a efectos de evitar o minimizar las probabilidades de eutrofización de dicho cuerpo receptor.

De este modo, la calidad de efluente objetivo fijada para la planta en condición de régimen (estacionaria) es la que se establece en la siguiente tabla.

Parámetro	Unidad	Valor
[DBO]	mg/L	< 20
[SST]	mg/L	< 40
[P total]	mg/L	< 5
[N-NH4]	mg/L	< 2
[NKT]	mg/L	< 10
[N-NO3]	mg/L	< 20
Aceites y Grasas	mg/L	< 10

La población servida en la Etapa 1 es de 2000 habitantes, mientras que en la Etapa 2 se prevé la población servida sea de 3000 habitantes.

En la siguiente tabla se resumen los caudales esperados para la PTAR.



<b>Parámetro</b>	<b>Unidades</b>	<b>Eta<span>­</span>pa 1</b>	<b>Eta<span>­</span>pa 2</b>
Pob. Equiv.	hab	2000	3000
Dotación	L/hab.d	216	216
k1	adim	1.5	1.5
k2	adim	1.5	1.5
k pico	adim	2.25	2.25
Q medio	L/s	5.00	7.50
Q max_d	L/s	7.5	11.25
Q max_h	L/s	11.25	16.88
Q_bombeo	L/s	17.1	27
% adicional	%	52%	60%

## **4. PROCEDIMIENTOS PARA EL ARRANQUE**

Se establecen en este capítulo los principales lineamientos a seguir en lo que refiere al arranque y puesta en marcha de la planta.

### **4.1. Inspección general de las unidades**

Serán verificados si están de acuerdo con el proyecto y en perfectas condiciones los siguientes elementos:

- Todas las características mecánicas del equipamiento (ver Manual de Operación y Mantenimiento de Equipamiento Electromecánico);
- Niveles de arranque y parada de las bombas, así como de protecciones frente a operación en seco (enclavamientos);
- Todas las nivelaciones y regulaciones de vertederos;
- La instalación del sistema de aireación;
- El sistema de control operacional (ver Manual de Sistema de Control y Monitoreo Remoto – SCADA);
- Los tableros eléctricos para los equipos electromecánicos;
- Funcionamiento de las válvulas en general;

Previo al ingreso de agua residual al sistema, es recomendable el llenado de las unidades con agua limpia y/o bruta de río, y simular el tratamiento y circulación de la misma durante un tiempo razonable (1 – 2 días) a efectos de ver la estabilidad del sistema y/o necesidad de ajustes.

A continuación se detallan las unidades que requieran ajustes específicos en la puesta en marcha.

### **4.2. Reja Manual y Desarenador**

La reja se encontrará en su posición normal, verificando apoye debidamente en el fondo del canal y que no existan luces (espacios libre) mayores al ancho de separación entre barras respecto a la paredes del canal.

Se ajustarán ambos vertederos de tipo proporcional, verificando no hayan pérdidas en la guía y/o laterales.

Las compuertas de entrada se deberán abrir completamente, de modo no generen obstrucciones al flujo.

### **4.3. Estaciones de bombeo EB1**

Las bombas comenzarán a operar por el flujo normal del afluente desbastado y desarenador a través de la reja manual y desarenador proyectado.

Se deberán verificar la correcta instalación (alineación y verticalidad) de las bombas en el sistema de auto acoplamiento, corroborando no haya vibraciones durante su arranque inicial.

Asimismo, se deberán confirmar los siguientes niveles operativos:

- Consigna de nivel constante a mantener en la EB1, mediante la variación de rotación de las bombas (variador de frecuencia);
- Niveles discretos de parada (protección) de las bombas;
- Nivel de alarma por muy alto nivel en la EB1;
- Niveles de operación del mixer sumergible (arranque y parada);



#### **4.4. Reactor integrado (RIAEN)**

Se propone el inicio de la operación con ambos reactores, y en principio no se considerará la inoculación con lodo de plantas similares cercanas (por ej. Minas y/o Florida).

El arranque se propone se realice con ambos reactores llenos de agua – potable y/o bruta de Río – la cual se ira diluyendo a medida ingrese el agua residual proveniente del bombeo en la red.

Se deberá verificar la correcta nivelación del vertedero de salida del sedimentador secundario, verificando que el vertido sea uniforme y homogéneo en todo su perímetro.

Previo al ingreso de agua residual se verificará el adecuado funcionamiento y lectura de los sensores instalados en esta unidad, así como su remoción para mantenimiento y calibración una vez entren en contacto con aguas residuales:

- Caudalímetro de alimentación a los reactores;
- Sensores de OD en celdas aerobias;
- Sensor de SST en reactores;
- Sensor de carpeta de lodos en sedimentador secundario;
- Caudalímetro en línea de aire de los soplantes;

Durante esta etapa se evitará el vertido de camiones barométricos. La recepción de los mismos podrá realizarse una vez se alcancen los valores de régimen de los parámetros, o bien durante la puesta en marcha una vez se obtenga información representativa respecto a los caudales y cargas entrantes a la planta, extremándose los cuidados en lo que refiere a la naturaleza básica / ácida del líquido, aceites u otras sustancias potencialmente tóxicas para los microorganismos.

Visto que la planta no cuenta con tanque de acumulación de líquidos barométricos que posibiliten una alimentación o carga diferida al sistema, es deseable que la descarga se produzca cuando se tenga un caudal base afluente a la planta, que realice la dilución del líquido concentrado, pero a la vez fuera del horario pico afluente a la PTAR, procurando no sobrepasar la carga orgánica de diseño.

A continuación se exponen las características principales de la puesta en marcha de la planta:

- Los soplantes comenzarán operando a velocidad de giro nominal (máxima frecuencia) hasta alcanzar una concentración de OD en el reactor de 2mg/L, a partir de lo cual se ajustará la frecuencia y por ende la velocidad de giro con una frecuencia predeterminada (1 hora máximo) de forma tal de mantener la concentración de OD en ese valor, o bien se habilitará el lazo de control con los sensores de OD instalados.
- La recirculación de lodos será del 100% del caudal afluente a la planta, una vez se alcance la concentración de SSV (SST) de diseño (1500 a 2500 SSV; 3000 a 4000 SST).
- Las bombas de desnitrificación se encontrarán no operativas durante la etapa inicial de la puesta en operación; una vez se obtenga una concentración de sólidos suspendidos totales del orden de 1500 – 2000 mg/L, y efectuadas mediciones de concentración de amonio en el reactor así como del Nitrógeno Kjeldhal Total (NKT) en el afluente, se procederá a ajustar el caudal de operación de las mismas (ver Capítulo 6).
- Durante la puesta en operación las bombas de purga de lodos se encontrarán no operativas. El inicio de la purga de lodos solo será efectuado una vez que se alcance una concentración de SST de 3.500 mg/l en el reactor, así como de la calidad del clarificado. El volumen de lodo a purgar será el necesario

a efectos de mantener la concentración de sólidos suspendidos totales del reactor en el entorno de este valor (3500 mg/L), y siempre dentro del rango de 3000 – 6000 mg/L.

- Durante la puesta en operación no se operará el sistema de precipitación de P (dosificación de P). La puesta en marcha del mismo se realizará una vez se establezca el proceso biológico.

Se estima para la puesta en marcha y régimen del sistema biológico en el orden de 30 a 45 días, monitoreando su evolución semanalmente. En particular, durante las 2 primeras semanas de operación, se realizará una caracterización de las condiciones del caudal afluente a la planta, relevando la siguiente información:

- Curva diaria de variación de caudal;
- Caracterización diaria de efluente bruto, en particular para los siguientes parámetros – DQO, DBO, SST, NH<sub>4</sub> y P. En el caso de los parámetros AyG, pH así como CF, por tratarse de un efluente doméstico (composición relativamente constante), se puede realizar un par de determinaciones semanales.

#### **4.5. Canal de desinfección UV**

A efectos de no someter las lámparas UV a un efluente de baja calidad (transparencia) durante la puesta en marcha, se realizará el by-pass de esta unidad, habilitando el canal correspondiente.

Se deberá verificar la adecuada apertura y cierre de las compuertas aquí proyectadas, así como el automatismo de operación de la bomba de servicios y riego (presostato para arranque y parada; enclavamiento por muy bajo nivel en cámara de succión).

Previo al ingreso de agua residual, aún en la modalidad de bypass, se verificará el adecuado funcionamiento y lectura de los sensores instalados en esta unidad, así como su remoción para mantenimiento y calibración una vez entren en contacto con aguas residuales:

- Sensor de turbiedad;
- Sensor de transmitancia;
- Sensor ultrasónico para lectura de caudal efluente (parametrización y conversión a valores de caudal);

Durante la puesta en marcha se llevará registro de la evolución de los registros de los parámetros de turbiedad y transmitancia, así como de los SST y carga bacteriológica (CF) en el efluente clarificado. En el caso de los parámetros SST y CF, que no cuentan con sensor en línea, se realizarán 2 a 3 determinaciones semanales.

Una vez se alcancen valores considerados aptos para la puesta en marcha del equipo UV, en conjunto con una evaluación cualitativa del clarificado, se procederá a la habilitación del canal UV.

Previo a la habilitación del canal UV, se deberá verificar el adecuado funcionamiento del tablero del equipo, con su correspondiente automatismo interno.

Valores guía a considerar para la puesta en marcha del canal UV:

- SST inferior a 40mg/L;
- Turbiedad inferior a 10NTU;
- Transmitancia superior a 35-40%;



#### **4.6. Emisario a Río Santa Lucía**

Durante la puesta en marcha de la PTAR, se realizará una inspección semanal del emisario – estado de las cámaras de inspección y sus correspondientes tapas (estancas y comunes), así como del cabezal de descarga con reja en su salida.

Para las CI se verificará lo siguiente:

- Que no haya líquido estancado en el interior de la misma, o bien que no se encuentre ahogada;
- Tapas en posición, sin evidencia de desbordes y/o levantamientos;

Para el cabezal de descarga, se verificará lo siguiente:

- Que no haya erosión significativa en el punto de descarga;
- Que haya un adecuado escurrimiento del líquido a través de la reja de salida;
- Que no haya presencia de sólidos gruesos en la reja;

## 5. OPERACIÓN, CONTROL Y CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE LA PTAR FRAY MARCOS

### 5.1. Descarga de barométricas

La descarga de barométricas constituye una maniobra enteramente manual, la cual será realizada por el conductor de la barométrica con la supervisión del operario.

La PTAR Fray Marcos no cuenta con un depósito de acumulación y descarga diferida del líquido barométrico, de modo de evitar sobrecargas a la PTAR – tanto hidráulicas como orgánicas. Este aspecto fue debidamente identificado y alertado cuando la revisión del PE, decidiéndose adoptar medidas operativas de acuerdo a los siguientes párrafos, que minimicen las probabilidades de ocurrencia de éstos fenómenos.

Se recomienda que la descarga de barométrica se realiza en un horario que cumpla lo siguiente:

- Que exista un caudal afluente (mínimo) a la planta, que permita una dilución del líquido concentrado;
- Evitar realizar la descarga en horario pico, de modo de no sobrepasar hidráulicamente los reactores, así como no generar una sobrecarga orgánica;

Como regla general se recomienda se trate de realizar esta maniobra en horario central, a media mañana y a media tarde.

Al inicio de la maniobra de descarga, se recomienda mantener la válvula estrangulada, de modo de no sobrepasar la capacidad hidráulica del desarenador, que se corresponde con un tirante de  $\pm 30\text{cm}$  por sobre la cota de vertido.

En la siguiente tabla se resumen las principales tareas correspondientes a la operación y mantenimiento de esta unidad.

Tarea	Frecuencia
Limpieza de la zona de descarga (pavimento y reguera contra cordón)	Luego de cada descarga
Limpieza de canal de rejillas	Luego de cada descarga
Limpieza de paredes de desarenador	Luego de cada descarga
Inspección y limpieza de trazas de líquidos barométricos en EB1	1 vez por turno

### 5.2. Rejas de limpieza manual

Las rejillas proyectadas son de limpieza manual, por lo que en función de la tasa de acumulación de material (sólidos) se deberán limpiar las mismas por parte del operador.

En la siguiente tabla se resumen las principales tareas correspondientes a la operación y mantenimiento de esta unidad.

Tarea	Frecuencia
Verificar adecuado asentamiento / apoyo de la rejilla en el canal	1 vez por turno
Limpieza de canal de rejillas	Variable - mínimo 2 veces por turno
Ecurrido y almacenamiento de material de rejilla	Variable - previo a cada limpieza
Disposición final de material de rejilla	Variable



### 5.3. Desarenador

El desarenador proyectado es de tipo canal, y consta de 2 canales en paralelo, que en condiciones normales ambos permanecen operativos.

La entrada a los canales se produce desde el canal de rejas, y en la salida de los mismos se cuentan con vertederos de tipo proporcionales, que mantienen constante la velocidad horizontal,

Con frecuencia a establecer, a determinar en función de la producción de arena, uno de los canales se quitará de servicio para su limpieza, manteniendo el restante operativo. Finalizada la tarea de limpieza, se repetirá el procedimiento con el otro canal.

En la siguiente tabla se resumen las principales tareas correspondientes a la operación y mantenimiento de esta unidad.

Tarea	Frecuencia
Verificar presencia de fibras, flotantes y/o sólidos en entrada o salida del desarenador	1 vez por turno
Verificar los canales operen con tirantes semejantes, y que haya una adecuada distribución de caudales	1 vez por turno
Monitoreo e inspección de acumulación de arena	Variable - mínimo 1 vez por día
Realizar limpieza de desarenador	Variable - en función de la tasa de acumulación
Disposición final de arena removida	Variable - en función de la tasa de acumulación

El procedimiento para la limpieza del desarenador es el siguiente:

- Se cierra la compuerta del canal a limpieza;
- Se afloja el vertedero a la salida del mismo, de modo que escurra agua entre el vertedero móvil y las guías empotradas en el hormigón, y tomando la precaución no se escape arena hacia la EB1.
- Se deja escurrir por lapso de 1 hora aprox., o cuando se verifique la arena es pasible de ser removida con la pala especial diseñada.
- Se remueve la arena hacia el depósito de acumulación con la pala especial proyectada;
- Se ajusta el vertedero de salida (cierre), y se abre la compuerta, habilitando la operación del canal;
- Mismo procedimiento se realiza con el canal restante, en el supuesto que la acumulación de arena ocurre a igual tasa en ambos canales;

### 5.4. Estación de bombeo EB1

En la siguiente tabla se resumen las principales tareas correspondientes a la operación y mantenimiento de esta unidad.

Tarea	Frecuencia
Verificar presencia de fibras, flotantes y/o sólidos en pozo húmedo	1 vez por turno
Verificar adecuado posicionamiento de las boyas de control de equipos, procurando las mismas no enreden a escaleras, etc.	1 vez por turno
Detectar anomalías en la operación de las bombas: ruidos, vibraciones, golpeteo en válvula de retención	1 vez por turno
Verificar adecuado funcionamiento de mixer de resuspensión (arranque y parada)	1 vez por turno
Verificar nivel de operación normal en el pozo húmedo (nivel objetivo a mantener constante)	1 vez por turno
Verificar totalidad de niveles en sistema SCADA, y ajustar de ser necesario	1 vez por semana
Limpieza de cámara de válvulas	1 vez por semana o en caso de desbordes
Verificar caudal erogado por las bombas	1 vez por turno

### 5.5. Reactor integrado (RIAEN) – celdas y sedimentador secundario

En condiciones normales de operación, los procedimientos operacionales del sistema biológico de tratamiento se reducen básicamente a 2 actividades:

- Asegurar la existencia de condiciones favorables para el crecimiento de los microorganismos en el tanque de aireación, mediante el suministro de la cantidad de oxígeno necesario;
- Controlar dicho crecimiento mediante la purga del exceso de lodos generados.

El exceso de lodo es purgado directamente del múltiple de succión de lodo concentrado, el cual es compartido con la bomba de recirculación de lodos, y enviado para su acondicionamiento al tanque satélite, previo a su descarga en los lechos de secado.

Adicionalmente se debe garantizar una recirculación de líquido mezcla que permita obtener las condiciones deseadas de denitrificación (eliminación de los nitratos generados en las celdas aerobias 1, 2 y 3).

#### 5.5.1. Control de oxígeno disuelto

La concentración de OD adecuada para sustentar el crecimiento de los microorganismos debe situarse entre 1.5 y 2 mg/L.

Si la misma cae por debajo de 1.5 mg/L, se debe aumentar el suministro de oxígeno, en caso de que se sitúe por encima de 2 mg/L, se debe reducir, ya que no mejora el tratamiento y resulta en desperdicio de energía.

La cantidad de oxígeno suministrado a las distintas celdas se logra variando la densidad de difusores instalados en cada una de ellas. No se plantea en un principio la estrangulación de las válvulas proyectadas en las bajadas de alimentación de las parrillas.



Durante el inicio de la operación, se identificará el punto más crítico y/o más comprometido en lo que refiere a la demanda de O<sub>2</sub> – a priori, es esperable que este punto se ubique al inicio de la celda #1.

Cada reactor RIAEN cuenta con 2 sensores de OD en línea, instalados en el reactor en las celdas #1 y #2; se determinará el valor de OD a garantizar en dichos puntos de modo que la zona más crítica se mantenga por encima del rango 1.5-2mg/L.

Una vez ajustado este aspecto, la determinación de rutina se realizará en los puntos seleccionados a tal fin.

### **5.5.2. Determinación del perfil de OD en reactor aerobio**

Esta determinación será hecha inmediatamente luego del arranque de la PTAR, o bien si acontecen cambios importantes en el caudal afluente – cuali o cuantitativamente – así como problemas en el sistema de aireación.

Para ello se tomarán muestras y se determinará el OD durante la ocurrencia del pico horario de caudal, en los siguientes puntos de las celdas aerobias (6 puntos promediados):

- En el extremo de entrada y salida de la celda #1, a 1, 3 y 5m de profundidad; la medida representativa de cada punto será el promedio de los valores medidos;
- En la celda #2, ídem caso anterior;
- En la celda #3, ídem caso anterior;

Los valores se considerarán satisfactorios cuando cumplan con los siguientes criterios, en orden decreciente de prioridad:

- Ningún punto debe observar concentración de OD < 1mg/L
- Las concentraciones de OD a 1m de profundidad siempre deben ser > 1.5 mg/L
- Ningún punto debe observar concentración de OD > 2.5mg/L

En función de los resultados obtenidos, se seleccionarán los puntos y la profundidad de medición para el control de rutina con el oxímetro portátil, además de las mediciones en línea con los que se cuenta.

### **5.5.3. Determinación de OD para control de rutina**

La determinación de la concentración de OD será efectuada por el sensor de OD instalado en el reactor (ver punto 5.5.1), cuyas mediciones serán contrastadas diariamente con las medidas efectuadas con el oxímetro portátil, según se sugiere en las tareas de rutina propuestas.

En base al perfil de distribución de OD y a los controles de rutina, el operador estará en condiciones de establecer los criterios para la reducción del suministro de oxígeno, reduciendo la velocidad de giro del soplante mediante el lazo de control implementado, o bien operando el mismo en modalidad on – off (por ej. durante la noche), también a seleccionar desde el sistema SCADA implementado.

### **5.5.4. Control de la producción de lodo**

El control de la producción del lodo debe ser realizado de modo que la población de microorganismos se incremente al inicio de la operación hasta alcanzar la concentración adecuada al consumo de materia orgánica y nitrificación aportadas por el afluente (concentración de diseño), y luego de alcanzado este nivel (también llamado estado estacionario), mantener el equilibrio biológico en el sistema purgando toda la masa de organismos excedente.

Esto será efectuado mediante el control de la edad del lodo, o tiempo medio de retención celular, para lo cual se estimará la tasa de renovación de la población de microorganismos correspondiente al punto de equilibrio deseado del sistema, y se removerá continuamente una fracción de la masa total que corresponda a dicha tasa.

Esta mecánica resulta mucho más sencilla desde el punto de vista operacional que mediante el control de la concentración de SSVTA, ya que implica simplemente la medición del volumen de lodo a purgar, conocidas las concentraciones de SS en la tolva del sedimentador.

La edad de lodo de diseño es de 25 días, mientras que la concentración de Sólidos Suspendidos Totales (SST) diseño es del orden de 3500-4000mg/L, permitiéndose variaciones en un rango más amplia dependiendo de los resultados, por ej. 2500 – 4500mg/L.

Otro parámetro para determinar la purga de lodo es la relación alimento / microorganismo (o relación F/M por sus siglas en inglés – “food to microorganism ratio”), que expresa la relación entre la carga orgánica afluente al sistema y los sólidos en el reactor.

En el caso del sistema de lodos activados en la modalidad de aireación extendida, la relación F/M se sitúa en el rango 0.05 – 0.15 KgDBO5/KgSSV. En el punto 6 se detallan los cálculos a realizar para la determinación del volumen diario de lodo a purgar, así como para el cálculo de la relación F/M.

#### **5.5.5. Recirculación de lodos**

Como ya ha sido mencionado, la principal función de la recirculación del lodo es retornar a las celdas (reactor) prácticamente la totalidad del lodo, con la finalidad de mantener valores adecuados de SST (valores de diseño) que garanticen la eficiencia del proceso.

Esta maniobra permite independizar el tiempo de retención celular (~ 25 días) del tiempo de retención hidráulico (~ 24 horas).

Como se mencionara anteriormente, el valor de diseño de los SSV (sólidos suspendidos volátiles) y SST se encuentra en el entorno de los 2500 mg/L, mientras que los SST se ubican en el orden de 4000mg/L.

Si dicha recirculación resultara insuficiente sumado a una operación de purga también insuficiente, el lodo se acumulará en los decantadores (y en el sistema en general) con los consiguientes inconvenientes que ello genera, a saber: pérdida de lodo en el efluente, mala calidad de clarificado, aparición de flotantes, floc de mala calidad de sedimentación, y en consecuencia, una deficiente desinfección con el riesgo sanitario que ello conlleva.

Por el contrario, en caso de superarse el valor necesario para mantener la concentración de SS, no se constatará ningún efecto en el control del proceso, salvo el desperdicio de energía consumida en el bombeo de trasvase.

Por lo tanto, la acción del responsable se debe limitar a establecer el mínimo valor de la tasa de recirculación capaz de retornar el lodo removido en los decantadores a los reactores, y luego de definido éste, mantenerlo a lo largo del tiempo con la menor variación posible.

Esta consigna se establecerá como una proporcionalidad respecto al caudal efluente, en donde la eventual variación del caudal de recirculación se efectuará actuando en la consigna asignada a las bombas.

En el capítulo 6 se detallan los cálculos a realizar para la determinación del caudal de recirculación.



#### **5.5.6. Recirculación de denitrificación (licor mezcla)**

La función de la recirculación de denitrificación (o también de licor mezcla), es retornar a los reactores anóxicos los nitratos generados en los reactores aerobios (proceso denominado nitrificación), los cuales son convertidos a nitrógeno gaseoso y escapando luego a la atmósfera.

La eficiencia de denitrificación está muy asociada a la cantidad de nitrato que es recirculado a la zona anóxica; el total de nitratos recirculados viene dado por el bombeo de recirculación de lodos (que succiona de los sedimentadores) y por el bombeo de denitrificación propiamente dicho, que succiona desde el extremo de salida de la celda aerobia #3 (bomba de cavidad progresiva instalada en seco junto al reactor).

Al igual que en el caso anterior, la acción del responsable se debe limitar a establecer el mínimo valor de la tasa de recirculación capaz de alcanzar los tenores de denitrificación deseados, los cuales vienen dados por la calidad de vertido requerida.

Al igual que en el caso de la recirculación de lodos (BRL), esta consigna se establecerá como una proporcionalidad al caudal efluente, en donde la eventual variación del caudal de recirculación se efectuará actuando en la consigna asignada a las bombas.

En el capítulo 6 se detallan los cálculos a realizar para la determinación del caudal de recirculación de denitrificación.

#### **5.5.7. Control de los sedimentadores secundarios**

En todo momento se deberá observar la ausencia de lodo escapando por los vertederos perimetrales, así como la ocurrencia de flotantes y/o burbujeo desde el fondo del sedimentador; especial atención debe prestarse durante el horario de ocurrencia del caudal máximo (mediodía y noche), cuando la tasa de aplicación superficial de sólidos así como la tasa hidráulica es máxima.

Si bien se cuenta con la señal del sensor del manto de lodos, el cual se debe calibrar y realizar mantenimiento con una frecuencia preestablecida, la simple observación visual de los aspectos antes detallados resulta crucial para la correcta operación de la unidad de sedimentación así como para la obtención de un efluente de calidad aceptable.

Usualmente conviene mantener la profundidad o espesor del manto de lodos en el entorno de 1 – 1.5m, es decir a unos 2 – 2.5m del nivel de agua sobre el perímetro de la unidad. En caso de se observara una tendencia al aumento del manto o bien presencia de flotantes o lodo escapando por los vertederos perimetrales de salida, se deberá aumentar la extracción de lodos desde las unidades, ya sea aumentando relación de recirculación para aumentar los SSV o bien aumentando el caudal de purga hacia el tanque satélite y posterior lecho de secado.

Debe señalarse que el valor finalmente necesario de la recirculación y/o caudal de purga, podrá apartarse más o menos del valor de proyecto en función de la sedimentabilidad y denitrificación del lodo, así como del estado observado en los reactores y sedimentadores, y las mismas se fijarán el mismo en base a las consignas operacionales indicadas en el punto 6.

#### **5.5.8. Dosificación de cloruro férrico (precipitación de P)**

Parte del P total correspondiente al efluente crudo es consumido en la síntesis bacteriana, mientras que el remanente deberá ser precipitado mediante la dosificación de solución de cloruro férrico, a efectos de dar cumplimiento a los estándares de vertido ( $P < 5\text{mg/L}$ ).



La dosificación de cloruro férrico se realiza en la tubería de entrada al sedimentador secundaria, desde la celda #3, empleándose la turbulencia generada en la ingreso a la tubería así como dentro de la misma como unidad de mezcla rápida y floculador.

La dosificación se realiza a caudal constante, por lo que en las primeras semanas de operación de la planta, se deberán levantar o recabar la siguiente información:

- Curva de caudal diario afluyente a la planta, de modo de establecer períodos de caudal aproximadamente constante;
- Concentración de P en el efluente;

Con esa información, el operario realizará el ajuste manual de la bomba dosificadora, de acuerdo a los rangos horarios identificados, así como la concentración de P en el efluente.

### 5.5.9. Cuidados generales en la operación

Además de las tareas descritas inherentes al control del proceso, el operador deberá realizar regularmente otras vinculadas a la funcionalidad del sistema. Las tareas de rutina a realizar por parte del operador se detallan en la siguiente tabla. Una versión completa de la tabla sintetizando las tareas de rutina para la totalidad de las unidades se incluye en Anexos.

Celdas Anóxicas	Frecuencia
Verificar presencia de fibras y flotantes en celda, remover en caso de presencia de las mismas	1 vez por turno
Verificar adecuada operación de mixer y condición de mezcla completa en celda	2 veces / turno (mínimo)
Verificar descarga de BRL, BDN y efluente crudo (medir caudal de alimentación)	2 veces / turno (mínimo)
Medición de OD en celda anóxica (portátil)	1 vez por turno
Determinación de parámetros según manual O&M y Planillas de seguimiento	Según Tabla de Parámetros



Celdas Aerobias	Frecuencia
Inspección visual general de líquido en el reactor de acuerdo a lineamientos del manual de O&M	2-3 veces / turno
Inspección visual de sistema de aireación (aireación uniforme, generación de zonas muertas)	2 veces / turno
Verificar presencia de fibras y flotantes en celda, remover en caso de presencia de las mismas	1 vez por turno
Medición de OD en el reactor	2 veces / turno
Levantamiento de perfil de OD en el reactor según lineamientos de manual de O&M	Cada dos semanas máximo
Calibración de sensores de OD mediante oxímetro manual	Cada 2 semanas máximo
Ajuste de dosificación de cloruro férrico	Según rangos de caudales definidos
Determinación de parámetros según manual O&M y Planillas de seguimiento	según Tabla de Parámetros
Verificar caudal erogado por los SPT	1 vez por turno
Calibración de sensores de SS mediante determinación manual	Cada 2 semanas máximo

Sedimentadores Secundarios	Frecuencia
Inspección y control del manto de lodos según lineamientos del manual de O&M (visualmente y de acuerdo a sensores de manto de lodos)	según Tabla de Parámetros
Determinación de parámetros según manual O&M y Planillas de seguimiento	Diaria
Inspección visual de calidad de clarificado	2 veces por turno
Remoción de espumas y flotantes en la campana central de entrada, limpieza de caja de espumas y superficie del sedimentador en general	2 veces por turno
Limpieza de canal perimetral, deflectores y vertedero salida, control de crecimiento de algas	Diaria (a ajustar)
Inspección visual de nivelación de vertedero	Diaria
Control condiciones de succión / recirculación de lodos	Diaria (a ajustar)
Medición de OD en sedimentadores (residual de OD)	2-3 veces por turno

A lo largo del tiempo, la familiarización del operador con la instalación así como con el proceso, le permitirá mediante la simple observación visual del aspecto del líquido en los reactores así como en los sedimentadores (superficie líquida, manto de lodos), conocer el estado de funcionamiento del proceso.

Se incluye en el capítulo -- una guía de resolución de problemas y plan de contingencias, en formato de tabla, en donde se detallan los principales problemas generalmente encontrados en este tipo de tratamientos, su causa y posible solución. Es importante destacar que en la mayoría de los problemas las causas del mismo pueden ser múltiples; por tanto, la metodología para la resolución del mismo se basa en modificar

gradualmente los valores o parámetros involucrados – a priori identificados como principales causantes de la situación anómala – y monitorear la tendencia. Se deberá tener presente que la naturaleza biológica del proceso, por lo que la respuesta frente a los cambios y/o modificaciones realizadas son graduales, de allí la importancia de monitorear la tendencia.

A modo de síntesis, se detallan a continuación los principales aspectos a observar y registrar por parte del operador en lo que refiere al proceso de tratamiento:

- El líquido mezcla en las celdas aireadas debe tener aspecto de una suspensión densa de flóculos de tamaño apreciable, cuanto mayores los flocs y más rápidamente sedimenten en una probeta (Cono Imhoff), mejores las condiciones operacionales de la Planta;
- El color y olor del lodo también proveen informaciones importantes: un lodo en buen estado debe presentar coloración marrón vivo y olor característico, símil tierra húmeda, turba o humus, no desagradable. Un lodo demasiado oscuro, con olor ofensivo es señal de déficit de oxígeno.
- Un lodo disperso, poco floculado y demasiado claro indica probables problemas de sedimentación (posiblemente debido a un exceso de aireación), la aparición de coloraciones verdes, amarillas o rojas indican la presencia de residuos industriales en el afluente.
- La aparición de una capa moderada de espuma, de color blanco, en la superficie de las celdas aireadas es normal, pero una acumulación excesiva es indicio de baja concentración de SSV (SST). La solución consiste en aumentar la edad del lodo, reduciendo el caudal de purga (este fenómeno generalmente ocurre al inicio de la operación o puesta en marcha).
- La aparición de una capa flotante de espuma oscura y aceitosa, densa, puede indicar una edad del lodo demasiado grande, un exceso de lodos en el sistema o bien un déficit de oxígeno en el sistema, así como la aparición de organismos filamentosos que puedan dificultar la sedimentación del lodo.
- Respecto a los sedimentadores secundarios, la presencia de trozos de lodo flotando en la superficie puede ser señal de denitrificación de lodo en la unidad, lo cual se debe o bien al exceso de lodo en el mismo debido a una deficiente succión (purga y recirculación) desde la tolva de sedimentador, o bien a un inadecuado control de la recirculación del licor mezcla (denitrificación). También lodos diseminados y burbujas de gas en la superficie indica escasez de oxígeno en el efluente de los tanques de aireación.
- La súbita presencia de grandes concentraciones de lodo en el efluente de los decantadores, indica la ocurrencia del fenómeno denominado “bulking”, pérdida de sedimentabilidad debido a la presencia de organismos filamentosos, lo cual puede tener múltiples causas: presencia de residuos industriales, exceso o falta de oxígeno en las celdas de aireación, falta de nutrientes (excesiva dosificación de  $FeCl_3$  para precipitación de P), o cualquier otra modificación en las condiciones ambientales del reactor. En este caso, debe ser identificada la causa que generó el problema y corregirla – nuevamente se destaca la velocidad de respuesta del proceso frente a los cambios introducidos, los mismos son graduales, debiéndose monitorear la tendencia.

#### **5.5.10. Cámara de bombas EB2**

Se ubica entre los 2 reactores RIAEN existente, y si bien constituye una unidad independiente, forma parte importante del proceso, ya que la misma comprende las bombas de control del sistema de tratamiento, a saber:

- Bomba de recirculación de lodos (BRL);
- Bomba de purga de lodos (BPL);
- Bomba de recirculación de licor mezcla (denitrificación - BDN);



La operación de estos equipos puede ser manual y/o automática, según descripción del sistema SCADA proyectado.

En la siguiente tabla se resumen las principales tareas correspondientes a la operación y mantenimiento de esta unidad.

Tarea	Frecuencia
Limpieza de la cámara en general, verificar pérdidas y/o goteos en múltiple de succión y/o impulsión	Diaría
Detectar anomalías en la operación de las bombas: ruidos, vibraciones, golpeteo en válvula de retención	1 vez por turno
Monitorear caudal de purga de lodos	1 vez por turno

### 5.6. Canal de desinfección UV

La operación y mantenimiento del equipo de desinfección UV se deberá realizar en función de lo establecido en el Manual del equipo así como en el Manual de Operación y Mantenimiento Electromecánico.

Además de constatar el buen funcionamiento del equipo, el operador deberá realizar regularmente la limpieza de las lámparas UV, incluyendo su bastidor soporte y los conectores, así como del canal, baffle (tabique) aquietador y uniformización de flujo, así como el vertedero, procurando mantener los mismos libre de sólidos / lodo, biofilms, así como algas durante la mayor parte del tiempo.

Asimismo, se debe realizar la calibración periódica de los sensores de turbiedad y transmitancia instalados.

A continuación se detallan las tareas de rutina a realizar en esta unidad. Una versión completa de la tabla sintetizando las tareas de rutina para la totalidad de las unidades se incluye en Anexos.

Tarea	Frecuencia
Mantenimiento y servicio según Manual del proveedor	Ver manual
Mantenimiento y calibración de sensores de turbiedad y transmitancia	2 semanas a 1 mes (a ajustar)
Limpieza del canal, remoción de algas, biofilm, etc	Diaría
Verificar estado energizado del equipo y/o aviso de errores o alarmas	1 vez por turno
Determinación de parámetros según Manual de O&M y Planillas de Seguimiento	Según Tabla de parámetros

### 5.7. Sistema de dosificación de cloruro férrico

La dosificación de cloruro férrico ( $FeCl_3$ ) se utiliza para la precipitación de sulfuros (control de olores), así como la precipitación de P (control de nutrientes).

Una excesiva dosificación de cloruro puede acarrear los siguientes inconvenientes:

- Afectar negativamente el adecuado desarrollo del proceso, al no haber disponible P para una adecuada síntesis biológica;

- La solución de  $FeCl_3$  es altamente corrosiva, una dosificación constante sin realizar ajuste de acuerdo al caudal afluente, puede llevar a una concentración de la misma en los puntos de aplicación, produciendo el manchado y corrosión de los elementos allí presentes ( $H^+$ , tuberías metálicas, etc.).
- Relacionado con lo anterior, el efluente tratado (clarificado) puede presentar coloración, afectando la desinfección del efluente;

Como criterio general, no es recomendable dosificar en exceso; es preferible dosificar con dosis menores, y apuntar a remover el P afluente mediante la síntesis biológica en el proceso.

A efectos de optimizar este proceso, durante los primeros meses de operación de la PTAR, se deberá caracterizar adecuadamente el P en el efluente bruto, así como la concentración de sulfuros del mismo, registrando los eventos de ocurrencia de olores.

A continuación se detallan las tareas de rutina a realizar en esta unidad. Una versión completa de la tabla sintetizando las tareas de rutina para la totalidad de las unidades se incluye en Anexos.

Tarea	Frecuencia
Ajuste de bombas de dosificación (caudal de dosificación)	2 veces por turno (mínimo)
Rotación de bombas de dosificación	Semanal
Determinación de parámetros según Manual de O&M y Planillas de Seguimiento	Según Tabla de parámetros
Verificar niveles en tanques de solución, corroborando consumos de producto	Mensual
Limpieza con agua de puntos de dosificación de coagulante	Diaria

### 5.8. Sistema de deshidratación de lodos

El lodo purgado mediante las bombas BRL ubicadas en la EB2 es bombeado hacia el tanque satélite o pulmón de lodos, en donde se deja sedimentar y/o concentrar, para luego ser descargado por gravedad hacia los lechos de deshidratación de lodos.

Esta operación es enteramente manual, y los tiempos requeridos para el concentrado y/o deshidratado de los lodos se ajustarán en la práctica, a medida que se gane experiencia en la operación del sistema.

A continuación se describe brevemente el procedimiento:

- Para el volumen de lodos a purgar (calculado), se realiza el bombeo hacia el tanque satélite (TS);
- Es conveniente que la purga de lodos sea uniforme en el tiempo, y distribuida a lo largo del día, de modo de no generar cambios significativos en la masa de lodos del proceso;
- En el TS se deja decantar el lodo purgado, y previo al inicio de un nuevo bombeo, se realiza la purga del sobrenadante, hasta que se constate un cambio en las características del líquido purgado.
- Una vez que el TS se encuentra lleno, y previo a una nueva descarga, se realiza el vaciado total del mismo hacia el lecho de secado (LS) que se encuentre operativo;
- El LS se carga hasta alcanzar su altura máxima ( $\pm 0.5m$  respecto del nivel de lecho terminado), dejándose madurar el mismo, mientras se repite la operación con los restantes LS.
- Una vez se complete la carga de todos los LS, se procede al vaciado del LS con mayor tiempo de maduración (deshidratación), dando inicio al nuevo ciclo;



A continuación se detallan las tareas de rutina a realizar en esta unidad. Una versión completa de la tabla sintetizando las tareas de rutina para la totalidad de las unidades se incluye en Anexos.

Tarea	Frecuencia
Purga de lodos hacia TS	Diaria (a ajustar)
Purga de sobrenadantes	Diaria (a ajustar)
Carga de lechos de secado	Cada 2 - 3 días (a ajustar)
Limpieza de paredes de TS	Cada 2 - 3 días (a ajustar)
Limpieza (vaciado) de LS, raspado de superficie filtrante	Cada 10-15 días (a ajustar)
Limpieza de tuberías de retorno de clarificado a cabecera de planta (luego de vaciado de LS)	Cada 10-15 días (a ajustar)
Determinación de parámetros según Manual de O&M y Planillas de Seguimiento	Según Tabla de parámetros

La planta cuenta con una playa de valorización de lodos. Los lodos deshidratados pueden ser almacenados o dispuesto temporariamente allí, a solicitud de la Administración, para aplicación de un tratamiento adicional que posibilite su posterior reuso como mejorador de suelo, fertilizante, etc. Posibles tratamientos de valorización a realizar pueden ser compostaje con otros residuos (podas, residuos de ferias), desinfección, encalado, vermi-compostaje, etc.

### **5.9. Sistema de reuso de agua**

Visto la calidad del efluente obtenida, la PTAR cuenta con un sistema de reuso de agua tratado en aplicaciones que no requieren de calidad similar potable, como lo son riego de áreas verdes y limpieza de unidades y tuberías.

El sistema consiste en un equipo booster o de presurización – bomba centrífuga de eje horizontal – que succiona desde la cámara ubicada aguas debajo de la unidad de desinfección UV, y opera con un sistema hidroneumático (hidrosfera con presostato).

El sistema se encuentra stand-by a la presión pre-seteada de corte, y el arranque del mismo se produce automáticamente al abrirse alguno de los picos de servicio distribuidos por la PTAR.

En caso de que no haya producción de caudal, el sistema corta automáticamente a efectos de proteger la bomba de funcionamiento en seco.

A continuación se detallan las tareas de rutina a realizar en esta unidad. Una versión completa de la tabla sintetizando las tareas de rutina para la totalidad de las unidades se incluye en Anexos.

Tarea	Frecuencia
Limpieza de criba de succión	Semanal
Rotación de bombas	Semanal
Operación de las bombas	Diaria
Verificación de presión de corte / arranque	Semanal
Limpieza de cámara de bombas, múltiple y sistema hidroneumático	Semanal

### 5.10. **Abastecimiento de agua potable**

El agua potable proviene de la red de OSE frentista al predio.

El sistema de alimentación es de tipo indirecto; la conexión domiciliaria abastece el tanque elevado, desde el cual se alimenta el local principal, así como los 2 picos de servicio proyectados en la PTAR – uno de ellos en el sector de barométricas, y el otro en el sector de lechos de secado.

Básicamente, el empleo de agua potable en la planta se destina a:

- Uso en el local principal (baños, lavadero, laboratorio);
- Higiene de operarios en tareas “sucias” de operación, como lo son la descarga de barométricas, y la manipulación de lodos en los lechos de secado;

Esta instalación no requiere de cuidados y/o mantenimiento especial, más allá de una verificación periódica de los consumos de agua, el sistema de reposición de agua al tanque elevado (válvula flotador), así como la limpieza del mismo.

### 5.11. **Sistema de hidrantes de protección contra incendio**

Junto al tanque elevado se encuentra el sistema de protección contra incendio (PCI) en base a hidrantes.

El mismo se compone de un tanque de nivel de piso, el skid de bombas con su tablero de potencia y control – principal y jockey –, las tuberías de distribución, así como las bocas de incendio equipadas.

El sistema se encuentra stand by (presurizado), produciéndose su arranque automático en caso de apertura de alguna de las BIE existentes.

Semanalmente, se deberán operar las BIE verificándose el adecuado arranque del sistema y funcionamiento del automatismo, tanto para la bomba principal como para la bomba jockey.



## 6. CÁLCULO DE PARÁMETROS DE CONTROL DEL PROCESO

### 6.1. Introducción

En el presente capítulo se presentan los cálculos básicos de rutina para el control del proceso de lodos activados, los cuales deberán quedar debidamente registrados en las planillas de seguimiento y control incluidas en el Anexo 1.

Es importante resaltar que los cálculos aquí detallados se realizarán en base al valor de SST y no a los SSV, que estrictamente es el valor de SS que interviene en la asimilación y degradación de la materia orgánica (masa biológica activa). Este criterio se basa en que el valor de SST es de más sencilla y rápida determinación para el operario, y en que la relación SSV/SST tiene un valor aproximadamente constante para este tipo de proceso y agua residual del tipo doméstico.

En el caso del efluente crudo o bruto, el valor es de 0.8, mientras que en el caso de los SS del licor mezcla (en reactores) este valor es del orden de 0.65.

Así, la adopción de los SST como parámetro de control resulta adecuada y suficiente para una operación satisfactoria del sistema, pudiendo afectarse dicho valor por el factor antes mencionado (0.8 en el caso de efluente crudo – 0.65 en el caso del licor mezcla) para obtener el valor de SSV.

De todas maneras, dicho rango debiera ser verificado y calculado con cierta periodicidad para descartar incurrir en un error.

### 6.2. Cálculo de la recirculación de lodos

El caudal de recirculación de lodos se determina asumiendo un estado estacionario del sistema, es decir que no existe acumulación ni pérdida de lodos (masa biológica) en el mismo.

Esto se expresa mediante la siguiente expresión, que resulta de realizar un balance de sólidos en el reactor, despreciando los SS en el efluente bruto de entrada a la planta:

$$SST_{RIAEN} * (Q+Q_R) = SST_{SS} * Q_R$$

En donde,

$SST_{RIAEN}$  – Sólidos Suspendidos Totales en reactores, en mg/L (rango 2500 a 4500 mg/L)

$SST_{SS}$  – Sólidos Suspendidos Totales en el sedimentador secundario, en mg/L (rango 6000 a 8000 mg/L)

Q – Caudal afluente a la planta

$Q_R$  – Caudal de recirculación (bombas de recirculación de lodos)

Llamando relación de recirculación R al cociente  $Q_R/Q$ , y sustituyendo en la ecuación anterior, se llega a la siguiente expresión:

$$R/(1+R) = SST_{RIAEN} / SST_{SS}$$

De la ecuación anterior, se despeja el valor de R, la única incógnita de la misma. Por tanto, para su determinación es necesario conocer el valor de SST en los reactores y sedimentadores.



En caso de recircular el valor de R obtenido, se tenderán a mantener los valores de SST en reactores utilizados para el cálculo, es decir se mantendrá el estado estacionario en lo que refiere a los lodos en el sistema.

El caso de recircular un valor menor, la concentración de SST en el reactor tenderá a disminuir; por el contrario, en caso de recircular un valor superior, la concentración de SST en el reactor tenderá a aumentar.

Esta decisión deberá complementarse a su vez con el valor de la relación F/M, de modo de mantener el mismo dentro de los rangos usuales para este tipo de proceso (lodo activado en la modalidad de aireación extendida).

Las bombas de recirculación de la PTAR Fray Marcos fueron seleccionadas para recircular el 100% del caudal máximo diario (7.5L/s). Visto que el caudal instantáneo de bombeo (alimentación a los RIAEN) es sensiblemente inferior (17.1L/s), y como el bombeo de recirculación se establece como una constante de proporcionalidad en relación a caudal de alimentación, dicha constante se definirá como el cociente entre el caudal de bombeo y el caudal máximo diario (constante C1), y el % de recirculación requerido.

### 6.2.1. Ejemplo de cálculo

En la siguiente tabla se detalla un ejemplo de cálculo.

1	SST_RIAEN	3200	mg/L	
2	SST_SS	8000	mg/L	
3	BRL operativas	2	u	
4				
5	SST reactor/ SST BRL	0.4	adim	
6				
7	Factor recirculación R	67%	adim	
8				
9	Q max_d (Q1)	7.5	L/s	Dato
10	Q_bombeo (Q2)	17.1	L/s	Dato
11	Ratio Q2/Q1	2.28	adim	
12	Constante C1	44%	%	Valor constante
13	Constante K_R	29%	%	Fila (7) x Fila (12)
14				
15	Q afluyente (%Q2)	60%	%	
16	Q afluyente (Q3)	10.26	L/s	
17				
18	Q BRL (total)	5.0	L/s	
19	Q BRL (unitario)	2.50	L/s	
20				
21	Q Max BRL	3.75	L/s	
22	% Q Max BRL (Q2)	67%	L/s	
23	% Q afluyente (Q3)	49%	L/s	



De acuerdo a las concentraciones de SS determinadas, se requiere recircular el 78% del Q máximo diario (Q máximo de recirculación).

Como el lazo de control se establece en función de las bombas de alimentación a los reactores, con un Q instantáneo de 17.1L/s, el Q BRL se determina afectando el caudal máximo de las bombas BRL por la relación determinada (en este caso 78%), así como por la relación C1, que es constante e igual a 44%. El producto resultante del producto de ambas constantes – valor a ingresar en sistema SCADA, K\_R – es de 29% (fila 13).

En el ejemplo, el Q BRL resulta ser del 49% del Q instantáneo.

### **6.3. Cálculo de la recirculación de licor mezcla (denitrificación)**

La función de la recirculación de licor mezcla o de denitrificación, es retornar a la zona anóxica del reactor los nitratos formados en la zona aerobia, los cuales son “respirados” y convertidos a nitrógeno gaseoso.

La eficiencia de denitrificación está asociada a la cantidad de nitrato que es recirculado a la zona anóxica, según la siguiente fórmula:

$$\xi_{NO3} = (R + r)/(1 + R + r)$$

En donde:

$\xi_{NO3}$  – Eficiencia máxima teórica de remoción de nitratos;

R – Fracción de recirculación de lodo;

r – Fracción de recirculación de licor mezcla para denitrificación;

De la ecuación anterior, la incógnita generalmente viene dada por la fracción de recirculación de licor mezcla r, ya que la fracción de recirculación de lodo R viene dada por el cálculo realizado en el punto anterior, a efectos de mantener constante el balance de sólidos, mientras que la eficiencia de remoción de nitratos ( $\xi_{NO3}$ ) viene dada por la concentración de nitrógeno en el afluente (NKT – Nitrógeno Kjeldhal Total) y la máxima concentración admisible en el efluente según los requerimientos de diseño (NO3 total).

Lo establecido en el párrafo anterior asume que la totalidad del NTK afluente es nitrificado, esto es convertido a nitrato. Estrictamente, el valor de NKT se debe afectar por la eficiencia de este proceso.

Al igual que las bombas de recirculación de lodos, las bombas de denitrificación de la PTAR Fray Marcos fueron seleccionadas para recircular el 100% del caudal máximo diario (7.5L/s). Visto que el caudal instantáneo de bombeo (alimentación a los RIAEN) es sensiblemente inferior (17.1L/s), y como el bombeo de denitrificación se establece como una constante de proporcionalidad en relación a caudal de alimentación, dicha constante se definirá como el cociente entre el caudal de bombeo y el caudal máximo diario (constante C1), y el % de recirculación requerido.

#### **6.3.1. Ejemplo de cálculo**

En la siguiente tabla se detalla un ejemplo de cálculo.

1	NKT afluyente	45	mg/L	
2	Eficiencia Nitrificación	90%	%	
3	Nitrato generado	41	mg/L	
4	NO <sub>3</sub> efluente	15	mg/L	
5				
6	Eficiencia remoción requerida	63%	%	
7				
8	Recirculación BRL	67%	adim	
9	Q BRL	5	L/s	
10	Constante C1	44%	adim	Valor constante
11	Q_bombeo (Q2)	17.1	L/s	Dato
12	Recirculación BDN	103%	adim	
13	Constante K_DN	45%	%	Fila (10) x Fila (12)
14				
15	Q BDN total	7.8	L/s	
16	Q BDN unitario	3.9	L/s	
17				
18	Q Max BDN	7.5	L/s	
19	% Q Max BDN (Q2)	52%	L/s	
20				
21	Q afluyente (%Q2)	60%	%	
22	Q afluyente (Q3)	10.26	L/s	
23	% Q3	76%	%	
24				
25	Recirculación (R+r)	170%	%	% Q max_diario
26	QR + Qr	12.8	L/s	

De acuerdo a las concentraciones de compuestos de nitrógeno a la entrada (NKT) y salida (NO<sub>3</sub>), así como la eficiencia de nitrificación obtenida, se requiere recircular un 170% del caudal máximo diario, de los cuales el 67% corresponden a la recirculación de lodos.

Como el lazo de control se establece en función de las bombas de alimentación a los reactores, con un Q instantáneo de 17.1L/s, el Q BDN se determina afectando el caudal máximo de las bombas BDN por la relación determinada (en este caso 103%), así como por la relación C1, que es constante e igual a 44%. El producto resulta de ambas constantes – valor a ingresar en sistema SCADA, K\_DN – es de 45% (fila 13).

En el ejemplo, el Q BDN resulta ser del 76% del Q instantáneo de alimentación.

#### 6.4. Cálculo del Índice Volumétrico de Lodos

El Índice Volumétrico de Lodos (IVL) es un indicador de las características de sedimentabilidad del lodo producido en el tratamiento. El mismo se calcula mediante el cociente entre el resultado del ensayo del Cono Imhoff (tiempo de 30 minutos, en mL/L) y los SST en el reactor (en g/L).

El índice se expresa en mL/g, y la calidad del lodo se evalúa de acuerdo a la siguiente escala:



- -  $IVL < 90$  mL/g excelente sedimentabilidad
- -  $90 < IVL < 150$  mL/g buena sedimentabilidad
- -  $IVL > 150$  mL/g malas condiciones de sedimentabilidad

#### 6.4.1. Ejemplo de cálculo

Sean los siguientes valores:

- Resultado Cono Imhoff – 400 mL/L;
- $SST_{RIAEN}$  4000 mg/L (4 g/L)

Para estos valores, se calcula el  $IVL = 400 / 4 = 100$  mL/g, presentando por tanto el lodo generado en el proceso buenas características de sedimentabilidad.

#### 6.5. Cálculo de la relación F/M (alimento/microorganismos)

La relación F/M constituye un método sencillo y práctico de controlar el proceso de tratamiento, ya que manteniendo este parámetro dentro de los rangos indicados – en un principio asumidos dentro de los rangos recomendados o sugeridos, los cuales se retroalimentarán y ajustarán durante la operación – en teoría no debería de haber inconveniente alguno.

La relación F/M se expresa en Kg DBO<sub>5</sub>/SSV; aplica en este caso la aclaración realizada respecto al uso del parámetro SST y SSV en el capítulo 6.1.

Para el proceso de lodos activados en la modalidad de aireación extendida, como lo es el caso de la PTAR Fray Macos, el rango de variación de este parámetro se sitúa en el orden de 0.05 – 0.15 Kg DBO<sub>5</sub>/KgSSV.

En el tratamiento de aguas residuales domésticas la carga orgánica afluyente sufre mínimas variaciones diarias así como estacionales; la concentración de DBO<sub>5</sub> en el afluyente es del orden de 200 – 250 mg/L.

Por tanto, la variable a modificar por parte del operador responsable viene dada por la concentración de SS en el reactor, mediante las operaciones de recirculación (QR) y purga de lodos (QP).

De este modo, adoptando una base temporal diaria por razones de practicidad, se puede calcular la carga orgánica afluyente así como los SS promedio existentes en el sistema (inventario de biomasa), calculando así el factor F/M para cada día, monitoreando su evolución.

#### 6.5.1. Ejemplo de cálculo

En la siguiente tabla se detalla un ejemplo de cálculo.

1	Q medio diario	5	L/s
2	Q medio diario	432	m <sup>3</sup> /d
3	Volumen RIAEN	710	m <sup>3</sup>
4			
5	[DBO] media	250	mg/L
6	[SSV] media	2500	mg/L
7	Carga Orgánica	108	KgDBO5/d
8	Carga Sólidos	1775	KgSSV
9	Relación F/M	0.06	KgDBO5/KgSSV.d
10			
11	Ratio SSV/SST	0.65	SSV/SST
12	[SST] media	3846	mg/L
13	Carga Sólidos totales	2731	KgSST
14	Relación F/M	0.04	KgDBO5/KgSST.d
15			
16	Ratio DQO/DBO	2	KgDQO/KgDBO
17	[DQO] media	500	mg/L
18	Carga Orgánica	216	KgDQO/d
19	Relación F/M	0.12	KgDQO/KgSSV.d
20	Relación F/M	0.06	KgDQO/KgSST.d

Como se puede ver, para los parámetros [SSV], [DBO] y Q medio esperables, el parámetro F/M resulta en el límite inferior de rango sugerido.

En la tabla se indica el valor resultante para el parámetro SSV, así como para el parámetro SST.

La relación entre éstos, asumida igual a 0.65 (fila 11), se deberá verificar por medio de determinaciones periódicas.

Generalmente, para el control de la operación de la planta y del proceso de lodos activados la carga orgánica se expresa en términos de DQO (Demanda Química de Oxígeno, en mg/L), ya que éste es de más sencilla y rápida determinación. Así, resulta útil la expresión del parámetro F/M en términos de DQO en lo que refiere a la carga orgánica.

Para líquidos residuales domésticos, la relación DQO/DBO5 se mantiene aproximadamente constante en el entorno de 2. Así, el rango de variación del factor F/M en términos de DQO sería 0.10 – 0.30 KgDQO/KgSSV; el valor de 2 asumido en la tabla anterior (fila 16) se deberá verificar por medio de determinaciones periódicas.

## 6.6. Cálculo de purga de lodos

El cálculo del volumen de lodos a purgar se realiza fijando la edad del lodo, o también tiempo de retención celular, que es el tiempo de residencia medio de los microorganismos (biomasa) en el sistema.

Este valor viene dado por la siguiente expresión:

$$\theta_c = (V * SST_{RIAEN}) / (Q_P * SST_{SSED})$$



En donde:

- $\theta_c$  – Tiempo medio de retención celular, igual a 25 días de acuerdo a proyecto y modalidad de lodos activados seleccionada;
- $V$  – Volumen del sistema, constante e igual a 710 m<sup>3</sup>
- $SST_{RIAEN}$  – Sólidos Suspendidos Totales en los reactores, en mg/L (rango 4000 a 6000 mg/L)
- $SST_{SSED}$  – Sólidos Suspendidos Totales en el sedimentador, en mg/L (rango 8000 a 12000 mg/L)
- $Q_P$  – Caudal diario de purga de lodos

De la ecuación anterior se deduce que el tiempo medio de retención celular viene dado por el total de SS existentes en el sistema, dividido la tasa de remoción de los mismos, igual al producto del caudal de purga  $Q_P$  por la concentración de  $SST_{SSED}$ . Así, fijada la edad de lodo de acuerdo a los criterios de proyecto, en este caso 25 días, y conocidas las variables  $V$ ,  $SST_{RIAEN}$  y  $SST_{SSED}$  se despeja el valor del  $Q_P$ , caudal diario de purga de lodos.

Otro modo de estimar el caudal de purga diario es mediante el factor  $F/M$ , procurando mantener el mismo constante respecto a cierto valor, y estimando la producción observada de lodo en función de la carga orgánica removida. Para este tipo de sistemas, la producción de SSV (o SST) en función de la carga orgánica removida es del orden de  $0.4 - 1 \text{ KgSSV/KgDBO}_{5REM}$ , pudiéndose estimar por tanto la producción diaria de lodos.

Purgar una cantidad de lodos inferior a la producción registrada, conduce a un incremento de SS (lodos) en el sistema; por el contrario, purgar un cantidad de lodos superior a la producción registrada, conduce a una disminución de lodos en el sistema.

Este método es iterativo, en el sentido de que si se asume en primera instancia un valor de producción de lodos inferior al que ocurre realmente, se detectará un incremento en la concentración de SS en el sistema, y viceversa, lo cual se irá ajustando a medida que se gane experiencia en la operación de la planta.

### 6.6.1. Ejemplo de cálculo

En la siguiente tabla se detalla un ejemplo de cálculo.

1	Edad Lodo	25	d
2	Volumen RIAEN	710	m <sup>3</sup>
3	SST_RIAEN	3200	mg/L
4	SST_SS	8000	mg/L
5			
6	Caudal Purga	11.36	m <sup>3</sup> /d
7	Tiempo Purga	8	h
8	Caudal Purga	1.42	m <sup>3</sup> /h
9	Caudal Purga	1420.00	L/h
10			
11	Prod Específica Lodo	0.4	KgSSV/KgDBO <sub>5</sub>
12	Ratio SSV/SST	0.65	SSV/SST
13	Prod Específica Lodo	0.62	KgSST/KgDBO <sub>5</sub>
14	Carga Orgánica	108	KgDBO <sub>5</sub> /d
15	Producción Lodo	66.46	KgSST/d
16	Volumen Lodo	8.31	m <sup>3</sup> /d
17	Caudal Purga	1038.46	L/h

Como se puede ver, fijando la edad del lodo en 25 días, el volumen a purgar resulta de 11.36m<sup>3</sup>/d, mientras que estimando la producción diaria de lodo, el volumen resulta de 8.31m<sup>3</sup>/d.

En la práctica, el volumen a purgar se ajustará en función de las principales variables de cálculo – SST<sub>RIAEN</sub>, SST<sub>SSSED</sub> y Carga Orgánica afluente –, adoptando en la práctica el valor con el que se obtengan los mejores resultados.

Es deseable que la purga se realice en forma diferida en el tiempo, a valores constantes – cómo mínimo, ésta se debiera realizar en un período mínimo de 8 horas.

La instrumentación de apoyo para esta tarea viene dada por el sensor de carpeta de lodo en el sedimentador secundario, así como por el sensor de sólidos suspendidos en la tubería de purga de lodos. Asimismo, la geometría definida del tanque satélite permite una determinación bastante precisa del volumen purgado.

Otro criterio de purga podría ser el de mantener constante la carpeta de lodos en el sedimentador secundario, operando la BPL en modalidad ON/OFF de modo de mantener la interfase dentro del rango requerido o deseado.

El lodo purgado es enviado al tanque satélite para su concentración y purga de sobrenadante (1-2%), para luego ser descargado en los lechos de secado para su deshidratación (16-20%).

### 6.7. Cálculo de dosificación de cloruro férrico

Como se mencionará en el capítulo 5.5.8, la dosificación de cloruro férrico para la precipitación de P y sulfuros se realiza de modo manual.

El caudal nominal de las bombas es de 4L/h (100%).



Durante los primeros meses de operación de la PTAR se recomienda operar únicamente el sistema de precipitación de P, mediante la dosificación de cloruro férrico en la tubería de interconexión entre la celda aerobia final, y el sedimentador secundario.

Se desestima la necesidad de dosificar  $FeCl_3$  para el control de olores, visto se trata de un proceso aerobio por lo cual es esperable una oxidación de los sulfuros en los reactores aireados, lo cual se confirmará con los primeros meses de operación de la planta.

### 6.7.1. Ejemplo de cálculo

En la siguiente tabla se detalla un ejemplo de cálculo.

1 Densidad solución	1.4	Kg/L
2 Concentración	42%	%
3 Ratio Fe/P (molar)	3	adim
4		
5 [P] in	11	mg/L
6 [P] out	2	mg/L
7 [P] síntesis	2.7	mg/L
8		
9 [P] remover	6.3	mg/L
10		
11 Dosis $FeCl_3$	18.9	mg/L
12		
13 $Q_{medio}$	5	L/s
14 % $Q_{medio}$	135%	%
15 $Q_{medio}$	24	m <sup>3</sup> /h
16		
17 Masa solución	1.1	Kg/h
18 $Q_{solución}$	0.8	L/h
19 $Q_{nominal}$	5	L/h
20 # bombas	2	adim
21 $Q_{bomba}$	0.39	L/h
22 % $Q_{nominal}$	8%	%

Para una relación molar de 3, en la tabla se detalla el caudal de dosificación considerando las concentraciones de P de entrada, el asimilado en la síntesis biológica, así y el valor admisible en la salida. Estos valores deberán ser determinados periódicamente, a efectos de corroborar y ajustar los valores.

Estrictamente, el valor admisible en la salida es de 5mg/L, adoptándose un valor de 2mg/L a efectos de contemplar una imprecisión en la dosificación de la solución.

En la medida se genere experiencia en la operación de la PTAR, se deberá generar una tabla de referencia rápida como la que se detalla a continuación, que permita al operario ajustar la dosis en función del caudal medio afluente. El rango de caudales se definirá luego de realizado un primer levantamiento del caudal afluente y su variación diaria.

Q medio 5 L/s  
 Q medio 18 m<sup>3</sup>/h

Turno		h	%	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup>	L/h	L
Inicio	Fin	Duración	% Q medio	Q medio	Acumulado	Q Dosificación	Consumo
0	6	6	50%	9	54	0.15	0.9
6	11	5	100%	18	90	0.3	1.5
11	15	4	130%	23.4	93.6	0.4	1.6
15	19	4	100%	18	72	0.3	1.2
19	24	5	135%	24.3	121.5	0.4	2

<b>Total</b>	431	7.2
--------------	-----	-----

Como se puede ver en la tabla, para la variación diaria de caudal asumida, así como las concentraciones de la tabla anterior, el consumo diario de solución se sitúa en 7.2L/d. Es importante que esta tabla se exprese en términos de caudal medio en el horario considerado, y no en función del caudal instantáneo de bombeo.

Como se puede ver es un volumen reducido en función del total almacenado (8000L), por lo que se tiene una autonomía considerable (> 1 año).

Se reitera nuevamente, como criterio general, no es recomendable dosificar en exceso; es preferible dosificar con dosis menores, y apuntar a remover el P afluente mediante la síntesis biológica en el proceso.

En la siguiente tabla se resume el caudal de dosificación en función del Q medio, para tomar como guía o referencia rápida.

	L/s	L/h	%
Q medio	Q BDC	% Q nominal	
1	0.06	2%	
2	0.12	3%	
3	0.17	4%	
4	0.23	6%	
5	0.29	7%	
6	0.35	9%	
7	0.41	10%	