



Estado Plurinacional
de Bolivia



Guía de Operación y Mantenimiento de Lagunas de Oxidación en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales

PARA OPERADORES



Implementada por:

giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Programa para Servicios Sostenibles
de Agua Potable y Saneamiento
en Áreas Periurbanas (PERIAGUA)

Título:

Guía de Operación y Mantenimiento de Lagunas de Oxidación en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales

Depósito Legal:**ISBN:****Elaboración:**

Ing. Tina Reutelshöfer

Revisión:

AAPS

SENASBA

Ing. Antonio Macchiavelli

Edición, diseño y diagramación:

PERIAGUA

Archivo fotográfico PERIAGUA

Figuras: Elaboración PERIAGUA

Primera edición 2015

La Paz, Bolivia

Esta publicación fue elaborada por el Servicio Nacional para la Sostenibilidad de Servicios en Saneamiento Básico (SENASBA) y financiada por la Cooperación Alemana por encargo del Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo de Alemania (BMZ), a través de la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH y su Programa para Servicios Sostenibles de Agua Potable y Saneamiento en Áreas Periurbanas (PERIAGUA).

PERIAGUA es un programa implementado por el Ministerio de Medio Ambiente y Agua del Estado Plurinacional de Bolivia, el Servicio Nacional para la Sostenibilidad de Servicios en Saneamiento Básico (SENASBA), la Autoridad de Fiscalización y Control Social de Agua Potable y Saneamiento Básico (AAPS) y la Entidad Ejecutora de Medio Ambiente y Agua (EMAGUA).

Esta publicación es parte de la caja de herramientas de fortalecimiento institucional a las EPSA por parte del SENASBA

Se autoriza la reproducción total o parcial del presente documento, sin fines comerciales, citando adecuadamente la fuente.

Guía de Operación y Mantenimiento de Lagunas de Oxidación en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales



Contenido

Introducción.....	1
--------------------------	----------

Construcción y funcionamiento de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales... 3

El principio de funcionamiento de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.....	3
Sistema de las lagunas.....	4
Tipos de PTAR de lagunas	5
Diferentes unidades de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales	6
Pre-tratamiento.....	6
Rejilla	6
Desarenador	6
Trampa de grasa.....	7
Tipos de lagunas.....	7
Laguna anaeróbica	7
Laguna facultativa.....	8
Laguna de maduración	9

Operación, control y mantenimiento de una Planta de Tratamiento

de Aguas Residuales 11

Operación adecuada	11
Limpieza de la rejilla.....	12
Limpieza del desarenador	12
Trampa de grasa	14
Limpieza de las lagunas facultativas y de maduración	14
Almacenamiento	15
Mantenimiento necesario	16
Corte de la maleza	16
Prevención de la corrosión	17



Limpieza de lodos.....	17
Lodo de la laguna anaeróbica.....	17
Lodo de la laguna facultativa	18
¿Cómo se puede realizar una limpieza de los lodos?	18
Manejo de lodos.....	19
¿Para qué se puede usar el lodo seco?.....	21

Control 22

Medición del caudal	22
Sistema del canal de Parshall.....	22
Método volumétrico mediante balde	24
Instrucciones del método volumétrico mediante balde	25
Vertederos de aforo.....	27

Conceptos básicos de las aguas residuales 29

Definición de la población equivalente	29
Tipos de aguas residuales	30
Parámetros claves para determinar la eficiencia de una PTAR	31
1. pH.....	31
2. Temperatura	32
3. Coliformes fecales o Coliformes termoresistentes	32
4. DBO ₅ . (Cantidad de oxígeno consumida por la materia orgánica en el agua en un período de 5 días a 20 C)	33
5. DQO. (Cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar la materia contenida en el agua con oxidante químico)	33
6. Sólidos Suspendidos Totales (SST).....	33
Los nutrientes nitrógeno y fósforo	34
Nitrógeno.....	34
Fósforo	34
Composición del agua residual cruda	34
Requerimientos según la Ley de Medio Ambiente	36



Demandas a la calidad del efluente de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR)	36
Frecuencia recomendable de la toma de muestras	37
Peligro de los gases y de las salpicaduras	38
A) Cámaras sépticas o de inspección o reactores anaeróbico.....	38
B) ¿Cómo inspeccionar las redes de colectores y cámaras?.....	39
C) Ingreso a las cámaras de inspección.....	39
D) Tras dos horas de ventilación.....	40
E) El olor	41
F) El peligro de salpicaduras ¿En qué situación se necesita un barbijo?.....	41
Siglas, definiciones y explicaciones	42
Anexo 1:	
Cálculo del caudal con un vertedero de aforo	46
Anexo 2:	
Cálculo del caudal de un día.....	49
Anexo 3:	
Tablas para verificar los trabajos realizados con firma hasta la fecha actual del ejemplo	51
Anexo 3a:	
Ejemplo de un calendario de las obras de una PTAR de 6.000 EH	53
Anexo 3b:	
Ejemplo de un calendario de las obras de una PTAR de y 30.000 EH	55
Anexo 4:	
Mantenimiento y operación de una PTAR	57
Limpieza de la rejilla y de la entrada	58
Limpieza de los sedimentos antes de la rejilla.....	58
Uso de almacenamiento.....	58
Corte de la maleza del cerco	59







Introducción

En la historia humana existen inventos y logros importantes, los cuales brindan a la gente una mejor calidad de vida. Se dice que el mejor invento de todas las épocas es la rueda. No se sabe quién la inventó, pero ha cambiado la manera de vivir de las personas.

Una revista especializada en medicina preguntó a sus lectores: ¿Cuál fue el logro más importante de todas las épocas en la medicina? Unas 11 mil personas respondieron: El logro más importante de la medicina *es el saneamiento con agua potable y el sistema para el tratamiento de aguas residuales*. Esa respuesta fue una sorpresa, ya que se pensó en el descubrimiento de los antibióticos, de las vacunas o de la radiografía, pero el servicio de agua potable y saneamiento no parecían tener relación directa con la salud.

No es evidente la relación entre la salud y la infraestructura de agua potable y residual, pero si se observan los datos, es importante pensar que 11 mil personas tienen razón. La causa del 3% de todas las defunciones en el mundo, que son 3 a 4 millones cada año, es por enfermedades diarreicas. Estas enfermedades se deben, frecuentemente, al consumo de agua contaminada. Además de enfermedades diarreicas, el agua contaminada también provoca cólera, fiebre paratifoidea, Hepatitis C, entre otras.



El consumo de agua contaminada e insalubre es una consecuencia de la falencia en el servicio de agua potable y saneamiento básico.

A pesar de estos argumentos, la fama que tienen un sistema del alcantarillado y una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales no es buena. La gente conoce sólo los aspectos sucios y desagradables del tratamiento del agua residual, e ignoran la importancia y necesidad para la salud y la calidad de vida. Cambiar esa idea en la mentalidad de las personas es la tarea que tienen los profesionales que trabajan en el sector de alcantarillado y de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. Ese cambio de paradigma sólo se puede conseguir a través de una buena operación, mantenimiento regular y control/monitoreo adecuado, con el fin de evaluar efectivamente los resultados.



Construcción y funcionamiento de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

El principio de funcionamiento de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

El principio de funcionamiento de cada **Planta de Tratamiento de Aguas Residuales**, en adelante “PTAR”, es copiado de la naturaleza. Cada cuerpo de agua tiene la capacidad de purificarse por sí mismo, si la contaminación no sobrepasa ciertos límites. Por supuesto, no se puede esperar que una laguna se purifique después que, por ejemplo, toneladas de gasolina fluyeron en este cuerpo de agua. Al contrario, si se trata de pequeñas contaminaciones puntuales, los microorganismos que viven directamente en el agua o en la superficie de rocas y plantas pueden metabolizarlas y purificar el cuerpo de agua.

FIGURA 1: MICROORGANISMOS QUE VIVEN DIRECTAMENTE EN EL AGUA O EN LA SUPERFICIE DE PLANTAS O ROCAS



Una PTAR funciona bajo el mismo principio, pero contrariamente a un cuerpo de agua natural, es diseñada con el fin de facilitar las condiciones perfectas para los microorganismos, de esta manera se logra que metabolicen efectivamente, y por ende, purifiquen el agua.

Normalmente, una población de microorganismos se desarrolla en una nueva PTAR sin una intervención específica del hombre. Es decir, como estos ya existen en el agua residual, se desarrollan y multiplican en cuanto encuentran las circunstancias adecuadas para vivir. Sin embargo, para apresurar este proceso se aconseja inocular (esparcir) lodo en la PTAR proveniente de otra PTAR que trabaja en buenas condiciones. Así se brinda una mezcla directa de diferentes microorganismos y se agiliza la conformación de una población bacteriana en la PTAR.

Las lagunas, tanques, filtros percoladores o reactores en los que las bacterias trabajan son la parte más importante de cada PTAR, ya que ahí se realiza la purificación. A la vez, es fundamental la fase de pre-tratamiento para prevenir daños en las instalaciones y/o taponamientos.

Sistema de las lagunas

El sistema de las lagunas, es decir, un sistema que únicamente consiste de lagunas y no tiene otros dispositivos, además del pre-tratamiento, es un tratamiento natural de purificación de aguas residuales. Cuenta con muchos beneficios, por un lado, los costos para la construcción, operación y mantenimiento son relativamente bajos, aunque las lagunas sirven para el tratamiento del agua residual doméstica, también sirven para la de comercios y pequeñas industrias. Por otro lado, si una PTAR de lagunas está bien construida y recibe una operación adecuada y un mantenimiento regular, puede alcanzar una buena reducción de la carga orgánica y de las bacterias.

Una de las desventajas de este sistema es la gran necesidad de terreno. Muchas veces esto no se puede facilitar en zonas urbanas o regiones montañosas. Asimismo, el sistema no está hecho para una reducción satisfactoria del amonio, nitrógeno y fósforo. Pero si las circunstancias requieren de dicha reducción, se sugiere introducir modificaciones en la construcción, es decir, añadir otros dispositivos. Cabe resaltar que existen cambios en la eficiencia según el clima, por ejemplo, en temporadas frías se observa menor eficiencia, al contrario, en tiempos con mucho sol mejora, pero el alto crecimiento de algas causa valores elevados de contaminación en la salida de aguas residuales tratadas (efluente).

Asimismo, es importante tomar en cuenta que una PTAR en El Alto, por la altitud y la falta de oxígeno, no tiene la misma eficiencia que una del mismo diseño en la ciudad de Santa Cruz.





FIGURA 2: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA CIUDAD DE SUCRE CON ESCALERAS PARA PROVOCAR QUE ENTRE OXÍGENO

Tipos de PTAR de lagunas

El sistema de las lagunas se puede combinar de diferentes maneras. Por un lado, existen PTAR que sólo consisten de lagunas, y por el otro, las que tienen lagunas en combinación con una desinfección o reactores anaeróbicos. También es fundamental diferenciar entre lagunas con o sin aireación, aunque las primeras sólo existen en grandes PTAR como las de SAGUAPAC en Santa Cruz.

Según la publicación “Sistematización sobre tratamiento y reúso de aguas residuales”, elaborada el año 2013 por la GIZ, casi la mitad de las PTAR en Bolivia aplican lagunas. Adicionalmente, el 16% de PTAR están combinadas por lagunas, tanques, reactores, etc.

Generalmente, las PTAR de lagunas o en combinación con otro dispositivo los cuales son bien construidos pueden ser aptas para cumplir con los valores límites de DBO_5 , DQO y helmintos. A pesar que no se puede obtener una reducción suficiente del nutriente nitrógeno en sus diferentes formas de $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ o $\text{NO}_2\text{-N}$.



Diferentes unidades de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

Pre-tratamiento

Rejilla

La rejilla es una parte importante de cada PTAR, ya que con sus barras retiene sólidos gruesos, escombros, piedras, madera, plásticos, artículos de higiene, textiles y otra basura. Retiene el flujo, evita taponamientos, daños y bloqueos en los siguientes procesos de la PTAR.

Para mantener el funcionamiento de la rejilla, se sugiere limpiarla por lo menos dos veces al día, y si es necesario, aumentar esta frecuencia.

Como se describe en el capítulo “*Limpieza de la rejilla*”, ésta se realiza de mejor manera con un rastrillo y una pala para sacar los residuos y los sedimentos. Ya que los dos son focos de contaminación, es fundamental limpiarla con ropa de trabajo y guantes de goma o desechables.

La falta de limpieza puede generar costos más elevados a consecuencia de falencias causadas por taponamientos y desgastes.

Desarenador

En el desarenador, ubicado después de la rejilla, la velocidad del flujo del afluente se reduce para que la arena se sedimente al fondo. Es importante retener la arena de esta manera para evitar que desgaste las instalaciones en la PTAR.



FIGURA 3: REJILLA QUE RETIENE CUERPOS GRUESOS.



FIGURA 4: DESARENADOR DE DOBLE LÍNEA



FIGURA 5: TRAMPA DE GRASA

Para un buen funcionamiento, es trascendental tomar en cuenta que el desarenador no puede operar sin una limpieza regular. Si no existe suficiente profundidad para que la arena se sedimente, ésta es transportada por el agua residual hacia las lagunas. Una operación adecuada se encuentra descrita en el capítulo: *Limpieza del desarenador*.

Trampa de grasa

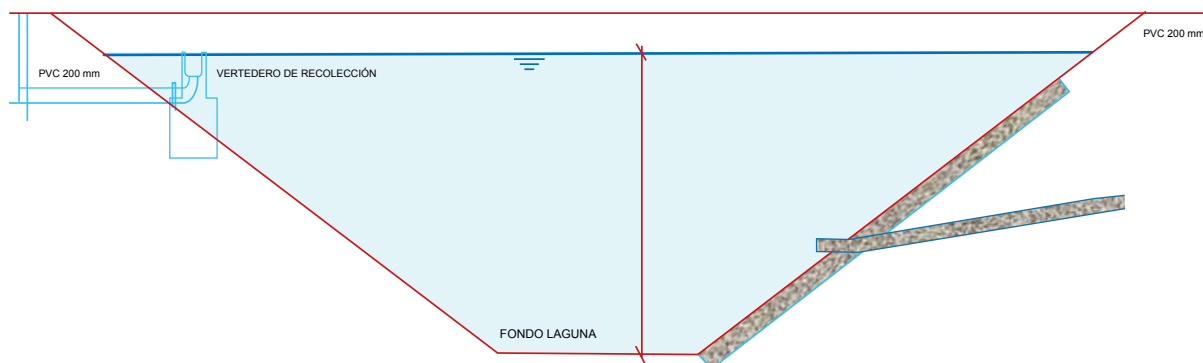
Normalmente, la trampa de grasa es un dispositivo con una pared que entra unos centímetros en el agua y retiene los objetos flotantes. Ya que esta pared no llega hasta el fondo, el agua pasa por debajo de la misma, mientras la grasa es detenida en la superficie.

Tipos de lagunas

Laguna anaeróbica

Las lagunas anaeróbicas son muy profundas, entre 4 a 5 metros. Por el contrario, su superficie es pequeña, ya que de esta forma las dimensiones permiten que no se produzca un ingreso suficiente de oxígeno en el agua. Estas cualidades provocan una concentración baja del oxígeno en la laguna, por eso se llama laguna anaeróbica.

FIGURA 6: CORTE TRANSVERSAL DE UNA LAGUNA ANAERÓBICA



Si existiera una laguna anaeróbica en una PTAR, ésta sería la primera laguna del sistema, ya que la carga gruesa que se encuentra en el agua residual se sedimenta al fondo. Ahí existen procesos de putrefacción, por los cuales la carga orgánica se descompone anaeróbicamente. Así, la laguna anaeróbica reduce la carga orgánica hasta un 60%, es decir, del DBO_5 inicial.

Asimismo, los procesos de putrefacción son la causa de mal olor que se producen en este tipo de laguna, debido a los gases volátiles formados durante la descomposición anaeróbica. Los gases arrastran partes del sedimento hasta llegar a la superficie. Al estar ahí, se forman natas de lodos con otros objetos flotantes, como papeles y bolsas plásticas que han pasado la rejilla. Es importante limpiar regularmente los últimos tres componentes, ya que podrían provocar taponamientos en la PTAR. Al contrario, es recomendable dejar la nata en la superficie, ya que esta capa evita que el aire entre, de esta manera, el estado anaeróbico está protegido. A pesar de la descomposición de la carga orgánica con el tiempo, se acumula lodo en el fondo, que consume más espacio. Este efecto logra incidencias negativas en el funcionamiento, que es importante evitar a través de una limpieza de la laguna entre 5 a 10 años.

Laguna facultativa

En general existen dos tipos de lagunas facultativas: las primarias que reciben agua residual después de un pre-tratamiento, y las secundarias, en las que entran aguas que fueron sedimentadas.

Las dos lagunas son normalmente de color verde, debido a que contienen algas que brindan suficiente oxígeno para reducir la carga orgánica que ha pasado en forma soluble hasta este dispositivo. Por lo tanto, la tarea de éste es conseguir una mayor remoción de la carga orgánica; es decir, en el caso de una laguna secundaria, después de una purificación que fue realizada en la laguna anaeróbica o en otro dispositivo. Además, se alcanza una reducción de gérmenes y huevos de helmintos en esta parte del sistema.

Normalmente, las lagunas facultativas son rectangulares con paredes inclinadas y una altura de más o menos 2 metros.

FIGURA 7: CORTE TRANSVERSAL DE UNA LAGUNA FACULTATIVA

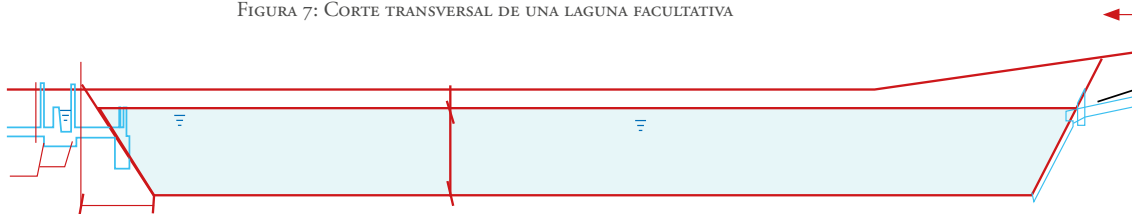




FIGURA 8: LAGUNA FACULTATIVA DE UNA PTAR EN CUATRO CAÑADAS, SANTA CRUZ

En la laguna facultativa se encuentra oxígeno que entra por el viento y la actividad fotosintética de las algas. Por eso, la presencia de algas no es un estado problemático, sino deseable para facilitar el oxígeno. Esto es fundamental para la sobrevivencia de las bacterias que causan la metabolización de los contaminantes del agua residual y que generan energía por sí mismas.

Estas bacterias no necesitan un criadero especial, ya que se encuentran en aguas residuales, por lo que se generan espontáneamente e incrementan rápido si encuentran buenas condiciones para su desarrollo.

Laguna de maduración

En la laguna de maduración, que siempre es la última, el agua está depurada adicionalmente. Con esta laguna se logra un aumento de la purificación de la carga orgánica realizada. Asimismo, dicha laguna tiene la tarea de efectuar la remoción de los Coliformes, que es un grupo de bacterias de las cuales muchas pueden causar enfermedades humanas.

Las lagunas de maduración suelen tener una profundidad de 1 a 1,5 metros, para que tanto el sol, como la radiación ultravioleta puedan entrar hasta el fondo. Así, la radiación ultra-



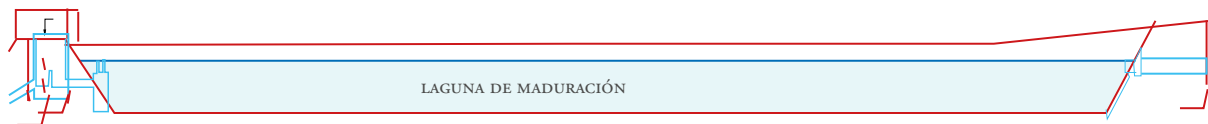


FIGURA 9: LAGUNA DE MADURACIÓN CON LOS BAFLES, QUE INCREMENTAN EL TIEMPO DE RETENCIÓN O DE PERMANENCIA DEL AGUA EN LA LAGUNA, EN UN FLUJO DE ZIGZAG

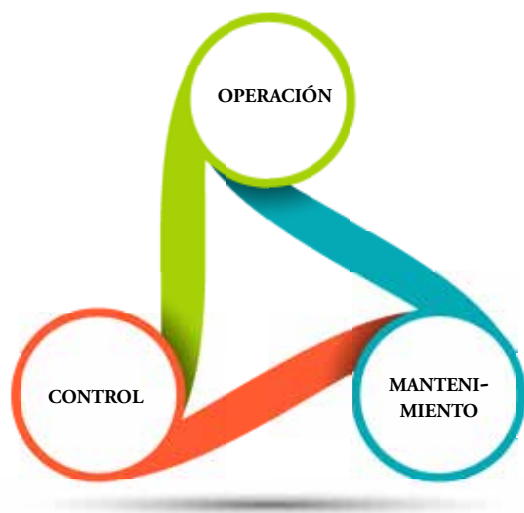
violeta incide en toda la profundidad de la laguna y mata microorganismos y bacterias. Esta remoción de los gérmenes es mejor cuando la retención del agua es más grande, puesto que la radiación ultravioleta tiene más tiempo para afectar a los gérmenes. Normalmente se calcula una retención del agua de 8 días en esta última laguna.



FIGURA 10: CORTE TRANSVERSAL DE UNA LAGUNA DE MADURACIÓN



Operación, control y mantenimiento de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales



Para mantener la eficiencia y las buenas condiciones en las que una PTAR trabaja, se necesita realizar los siguientes puntos:

- » Operación adecuada de la PTAR.
- » Control continuo.
- » Mantenimiento regular.

Para planificar, organizar y realizar estos trabajos, se recomienda que se usen los instrumentos presentados en el anexo 3 y 4.

Los dos calendarios del anexo 3 son ejemplos de cómo planificar las obras de un año para PTAR de diferentes tamaños. Se puede observar que la PTAR de 30.000 PE (Población Equivalente, pág 44) requiere, por su gran tamaño, más actividades, por ejemplo muestreos y rondas de control.

Operación adecuada

La operación se refiere a los trabajos que tienen una influencia directa en la eficiencia de la PTAR. En el caso de una PTAR de lagunas, no hay mucho que se pueda hacer para afectar directamente la eficiencia, así como no existen compartimentos eléctricos, ni un control para operar automáticamente, pero si no se realiza la operación necesaria pueden ocasionar una mala influencia hacia la eficiencia.

Una buena operación en una PTAR de lagunas consiste en la ejecución de los siguientes trabajos:





FIGURA 11: TRAMPA DE GRASA CON UNA CAPA DE GRASA Y BASURA ANTES DE LA CÁMARA DE LA DISTRIBUCIÓN.



FIGURA 12: LIMPIEZA DE LA REJILLA CON UN RASTRILLO



FIGURA 13: LIMPIEZA DELANTE DE LA REJILLA

1. Limpieza de la rejilla, por lo menos dos veces al día.
2. Limpieza del desarenador, una vez por mes.
3. Limpieza de la cámara de distribución /de la trampa de grasa, una vez por semana.
4. Limpieza de las lagunas durante la ronda del control, por lo menos una vez por semana.
5. Construcción, cuidado y uso de un almacenamiento para la basura de la rejilla, el lodo y la arena.

Limpieza de la rejilla

La limpieza de la rejilla se realiza con un rastrillo para sacar la basura retenida entre las barras (figura 12). Lo más fácil es levantar enseguida la basura en una carretilla que tiene que estar cerca de la rejilla y llevarla al almacenamiento. Se aconseja limpiar la rejilla por lo menos dos veces al día.

Además, es importante sacar los sedimentos delante de la rejilla una vez por semana (figura 13). Para hacerlo, se necesita una pala con la que se puede llevar en una carretilla al almacenamiento los sedimentos del fondo del canal.

Limpieza del desarenador

El desarenador retiene la arena de la PTAR, con el fin de evitar que ésta desgaste las instalaciones. Este funcionamiento es garantizado si existe suficiente profundidad, según el diseño del desarenador, para que la arena pueda sedimentarse. Si el desarenador ya está lleno de arena y lodo no funcionará. Por lo tanto, es importante limpiar el desarenador por lo menos una vez por mes.

Si se trata de un desarenador de dos líneas, y si existen compuertas que están en funcionamiento para la limpieza de

una línea, sólo se debe cerrar las compuertas de uno y realizar la limpieza mientras el otro esta en funcionamiento.

Lamentablemente, en la práctica frecuentemente no funciona así, puesto que la compuerta no se cierra de manera correcta o ni siquiera existen, por esa razón la arena no puede secarse. Una alternativa es parar las bombas por pocas horas (si se cuenta con una estación de bombas). El tiempo depende de la capacidad de la estación de bombeos o cárcamo, y se aprovecha este tiempo sin caudal para limpiar el desarenador.

Si no existe una estación de bombas ni compuertas, se puede intentar cerrar un compartimento con una madera y sacar los sedimentos a través de una bomba. (figura 15)

También se recomienda que una vez al mes se eche la mezcla de arena y lodo a una carretilla, y se transporte al almacenamiento.

Es importante recordar que los sólidos gruesos y los sedimentos son infecciosos, por lo que es necesario que los trabajadores lleven puesta la ropa adecuada, guantes y botas que



FIGURA 14: DESARENADOR LLENO DE ARENA.



FIGURA 15: LIMPIEZA DE UN DESARENADOR A TRAVÉS DE UNA BOMBA Y UN LECHO DE SECADO



FIGURA 16: ROPA PROFESIONAL, GUANTES, BARBIJO Y BOTAS DE GOMA PARA LIMPIAR EL DESARENADOR.





FIGURA 17: CAPA DE GRASA, BASURA Y CARGA ORGÁNICA EN LA TRAMPA DE GRASA.



FIGURA 18: LIMPIEZA DE LA TRAMPA DE GRASA.



FIGURA 19: CAPAS DE NATA QUE SE ENCUENTRAN EN LAS ORILLAS DE LA LAGUNA

comúnmente no utilizan, aparte de las obras en la PTAR o en el alcantarillado.

Trampa de grasa

La trampa de grasa se encuentra después del desarenador, el agua residual disminuye su velocidad en esa parte de la PTAR, por lo que la grasa se acumula ahí. Si no se limpia adecuadamente con una pala y carretilla, se genera una capa de grasa, basura y carga orgánica que puede bloquear el flujo.

Limpieza de las lagunas facultativas y de maduración

Es difícil evitar que algunos objetos flotantes (bolsas y botellas plásticas, etc.) pasen por la rejilla, el desarenador y alcancen a las lagunas, pero con una limpieza regular de estas unidades se puede disminuir la basura y evitar el riesgo de taponamientos.

En las lagunas facultativas y de maduración se puede sacar la nata, así como plásticos, bolsas, etc. desde la orilla con un rastrillo, ya que normalmente se encuentran en las esquinas de las lagunas (figura 19).



Asimismo, es imprescindible sacar capas de algas lo más pronto posible, si existen. El problema de las algas es que crecen explosivamente e impiden que la luz y el aire puedan entrar, además causan una alta concentración en algunos parámetros de control. Por el contrario, si las algas que no forman capas en la superficie están disueltas en el agua no son problemáticas.

Almacenamiento

La operación de una PTAR provoca muchos tipos de basura, como la arena en el desarenador y los residuos de la rejilla, pero también objetos flotantes de plástico o productos higiénicos usados.

Existe la posibilidad de depositar estos residuos en el relleno sanitario del municipio. En general, no existe un límite de humedad para los residuos, pero el municipio de Santa Cruz tiene en su ordenanza 030-2001 un valor máximo del 30% de humedad. Asimismo, se recomienda secar los residuos antes de transportarlos. Lo más fácil es un almacenamiento con una membrana impermeable. El agua sucia de todos los residuos de los diferentes unidades se fusionan al fondo del almacenamiento, lo cual evita que se infiltre al suelo. De ahí se puede sacar el agua y transportarla regularmente a través de una bomba pequeña al afluente de la PTAR.

El diseño del almacenamiento no tiene que ser complicado.

FIGURA 20: CORTE TRANSVERSAL DE UN ALMACENAMIENTO SENCILLO

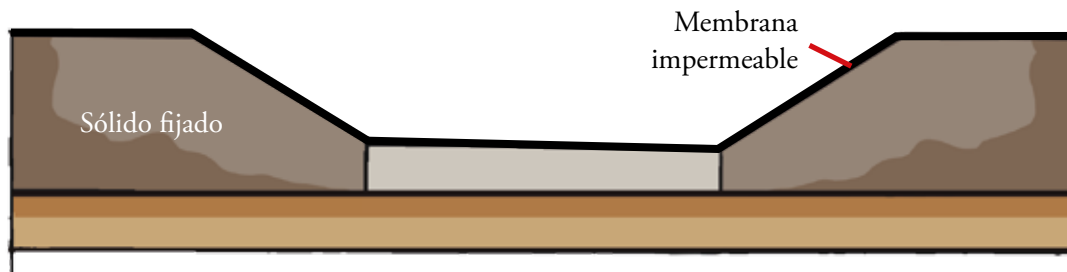




FIGURA 21: LECHO DE SECADO CON DRENAJE . ESTE DISEÑO TAMBIÉN SE PUEDE USAR PARA SECAR LOS RESIDUOS.



FIGURA 22: VEGETACIÓN DESTRUYENDO LA MEMBRANA IMPERMEABLE DE UNA LAGUNA

Una construcción sencilla, como se muestra en la figura 20, es suficiente.

Por supuesto, también existen diseños más complicados, por ejemplo con un techo para evitar que la lluvia se acumule al fondo, o también con ladrillos y drenaje como se muestra en la figura 21.

Un lecho de secado se usa normalmente para secar lodos puros, pero el sistema funciona para todos los residuos.

Mantenimiento necesario

Como una máquina o un auto, la PTAR también necesita mantenimiento regular para que su operación funcione sin problemas y sus componentes estén en buen estado, ya que si no se realiza el mantenimiento, la PTAR no tendrá un buen estado e influirá negativamente en la eficiencia.

Corte de la maleza

El corte de la maleza logra que la vegetación creciente en el área de la PTAR se mantenga pequeña, así se evita el crecimiento de árboles y arbustos. Esto es importante ya que sus raíces pueden destruir la membrana de las lagunas y también la estructura de la construcción (Figura 22).

Si no se realiza un corte regularmente, poco a poco la vegetación desgasta las instalaciones de la PTAR. Asimismo, existe el riesgo que la maleza llegue a la superficie de las lagunas y crezca rápidamente hasta tapar la laguna con plantas completamente. Si la PTAR se encuentra en ese estado es muy difícil limpiarla, ya que requiere de un bote para sacar todo, así se impide que crezca nuevamente. Para evitar estos problemas e inconvenientes es imprescindible cortar la vegetación regularmente, con mayor énfasis en las orillas de las lagunas. Se recomienda que no haya árboles,

arbustos ni maleza cerca, o por lo menos estén a seis metros de distancia para evitar que las hojas y ramas se acumulen en las lagunas.

Prevención de la corrosión

Por el clima tropical y la temporada de lluvia en el oriente del país, las partes de fierro tienen un alto riesgo de sufrir por la corrosión. Cabe mencionar que en otros lugares del país la corrosión también afecta la movilidad y el funcionamiento de las compuertas, rejillas etc., por ello se recomienda lijar las partes de las compuertas con un cepillo de acero y aplicar pintura anticorrosiva regularmente. En la rosca se sugiere usar grasa de camión, la cual tiene que ser aplicada frecuentemente. Asimismo, es importante desplazar regularmente las partes móviles, como las compuertas.

El cerco se protege mejor si se corta la vegetación, ya que evita que crezca por las mallas de alambre y las barras.

Limpieza de lodos

Existen diferentes tipos de lodos en una PTAR que se producen en las lagunas, pero también existe el lodo mezclado con arena en el desarenador, que se ha sedimentado delante de la rejilla.

Es importante sacar estos tipos de lodos para mantener una buena operación de la PTAR; sin embargo, la frecuencia es distinta para cada uno.

Lodo de la laguna anaeróbica

En la primera laguna del sistema se sedimenta mucho lodo, de esta manera, se realiza la remoción del 70% de los sólidos suspendidos. La cantidad de estos lodos se estima en un valor de 50 litros por habitante conectado por año. Por



FIGURA 23: PREVENCIÓN DE LA CORROSIÓN; MANTENIMIENTO DE LAS COMPUERTAS





FIGURA 24: PREPARACIÓN DE LA LIMPIEZA DE UNA LAGUNA FACULTATIVA: LA LAGUNA ESTA DESCONECTADA Y ATRAVÉS DE UNA BOMBA SE SACA EL AGUA DETENIDA.

ello, con el tiempo se acumula más lodo al fondo de la laguna que disminuye el espacio libre y la retención del agua. Por lo tanto, es fundamental sacarlo cada 3 a 6 años para asegurar el funcionamiento de la laguna.

Lodo de la laguna facultativa

Aunque ésta laguna es normalmente la segunda del sistema, y sólo recibe agua residual que fue sedimentada, también en este dispositivo se acumulan lodos. Según un estudio en Honduras, es importante calcular de 0,2 a 0,55 m³ de lodo en la laguna anaeróbica por 1000 m³ de aguas residuales tratadas. Eso significa que en la laguna facultativa se sedimenta de 20 a 50% del lodo que se acumula al mismo tiempo en la laguna anaeróbica, es decir, en la primera laguna que también puede ser una laguna facultativa

No obstante, también las segundas lagunas necesitan una limpieza cuando el volumen de los lodos se aproxima a 25% del volumen total, que es cada 5 a 10 años.

¿Cómo se puede realizar una limpieza de los lodos?

Un método para limpiar los lodos es a través de una desconexión y un vaciado completo de la laguna para sacar los lodos secados sedimentados que se encuentran al fondo. De esta manera, es necesaria una laguna adicional que trabaje paralelamente a la laguna que está en limpieza. Lamentablemente, sólo las grandes PTAR tienen esas condiciones, puesto que las pequeñas normalmente no tienen la posibilidad de construir una nueva laguna que sirva como sustituta.

Asimismo, existe otra alternativa para sacar los lodos del fondo de las lagunas, una bomba que está ubicada en un pequeño bote. Cabe resaltar que este método presenta algunas deficiencias, como por ejemplo: desconocer si efectivamente se sacaron todos los lodos y la complicación al sacar una mezcla de lodo y agua.



Manejo de lodos

Es común escuchar hablar del tratamiento de lodo cuando se refiere al secado y almacenamiento. Pero es importante aclarar que ese proceso no es un tratamiento, sino un manejo. El tratamiento significa que se reduce el contenido de la carga orgánica del lodo, algo que el proceso de secado no realiza.

Lo óptimo es que se aplicara un tratamiento de los lodos, pero por la falta de la tecnología en Bolivia, se ha establecido un manejo de los lodos que consiste en el secado de los mismos y su deposición.

Un buen ejemplo de manejo se encuentra en la PTAR de Sucre, mismo que tiene un sistema mixto que consiste de



FIGURA 25: TANQUE DE IMHOFF EN SUCRE



FIGURA 26: LECHOS DE SECADO, PTAR SUCRE





FIGURA 27: LODO DESHIDRATÁNDOSE EN EL
TRANSCURSO DE UNOS MESES

tres lagunas y seis tanques de Imhoff. Los últimos funcionan como parte de la primera etapa de purificación después del pre-tratamiento, por lo tanto, ahí se acumulan grandes cantidades de lodo que se transportan hacia los 35 lechos de secado, a través de bombas.

Los lechos de secado tienen un drenaje en forma de “v” en el fondo que afectan a que el lodo se seque con el tiempo.

El agua drenada pasa por el drenaje a una cámara, y de nuevo a la entrada de la PTAR. De esta manera, entra al sistema de purificación.

En los últimos años, el lodo secado de la PTAR de Sucre sirve como fertilizante, gracias a que muchos agricultores lo compran y usan para sus campos con cultivos altos. Así, la PTAR gana entre Bs. 15 a 55 por metro cúbico.



FIGURA 28: AGUA DRENADA EN LA CÁMARA DE LA CUAL
SERÁ TRANSPORTADA AL AFLUENTE DE LA PTAR.

Este ejemplo demuestra que el manejo del lodo no sólo es problemático y costoso, sino que también es una posibilidad para generar recursos económicos.

¿Para qué se puede usar el lodo seco?

En general, se usa el lodo como fertilizante en la agricultura, especialmente en cultivos altos, como por ejemplo maíz o soja, puesto que es importante evitar que la fruta o la verdura tengan contacto con el lodo, ya que todavía tienen gérmenes y, a veces, helmintos. Esa es la causa por la que no se debe usar el lodo como fertilizante en espacios públicos, por ejemplo en: céspedes, parques o canchas deportivas.

Cabe mencionar que para cualquier uso es fundamental analizar si se encuentran helmintos en el lodo, con el fin de prever riesgos infecciosos.



FIGURA 29: EJEMPLO PARA EL USO DE UN LECHO DE SECADO, QUE SE USA PARA EL LODO Y ARENA DEL DESARENADOR , EL AGUA DRENADA FLUYE POR UNA TUBERIA AL DESARENADOR OTRA VEZ MIENTRAS EL LODO SE SECA Y ES TRANSPORTADO A UN ALMACENAMIENTO.

Control

Los objetivos del control son la documentación del suceso, el comprobante de una buena operación y la oportunidad de estimar la eficiencia en el futuro. Tener la posibilidad de comprobar una buena operación y eficiencia es imprescindible, especialmente si existe temor y escepticismo en la población, ya que con una presentación de buenos resultados se puede terminar con los rumores y acusaciones falsas.

Asimismo, el control identifica problemas existentes que no se hubieran notado de otra manera, y si sobresale una falencia del funcionamiento a través de la muerte de peces en el cuerpo receptor ya es demasiado tarde. Un incidente de esta forma siempre conlleva a una pérdida de credibilidad y confianza. Por eso un control es preponderante para arreglar la falla. Un control adecuado se realiza a través de la anotación del mantenimiento, la operación y por la documentación de observaciones generales. Revisar fichas adjuntas en el *anexo 3*.

Para conseguir datos sobre la eficiencia y el estado de la PTAR, es importante medir el caudal, sacar muestras y que un laboratorio realice los análisis.

Medición del caudal

Sistema del canal de Parshall

Este sistema es el más frecuente para medir el caudal, y funciona bien siempre que haya un flujo constante, es decir, si el sistema trabaja con bombas que causan un flujo intermitente el canal de *Parshall* no sirve para determinar el caudal. La estructura de aforo tiene tres partes distintas: la entrada, la garganta y la salida. La entrada está formada por dos paredes convergentes. Después se ubica la garganta, donde se encuentra el flujo más rápido. Finalmente, la sección divergente que sigue después de la garganta es la salida del canal de *Parshall*.

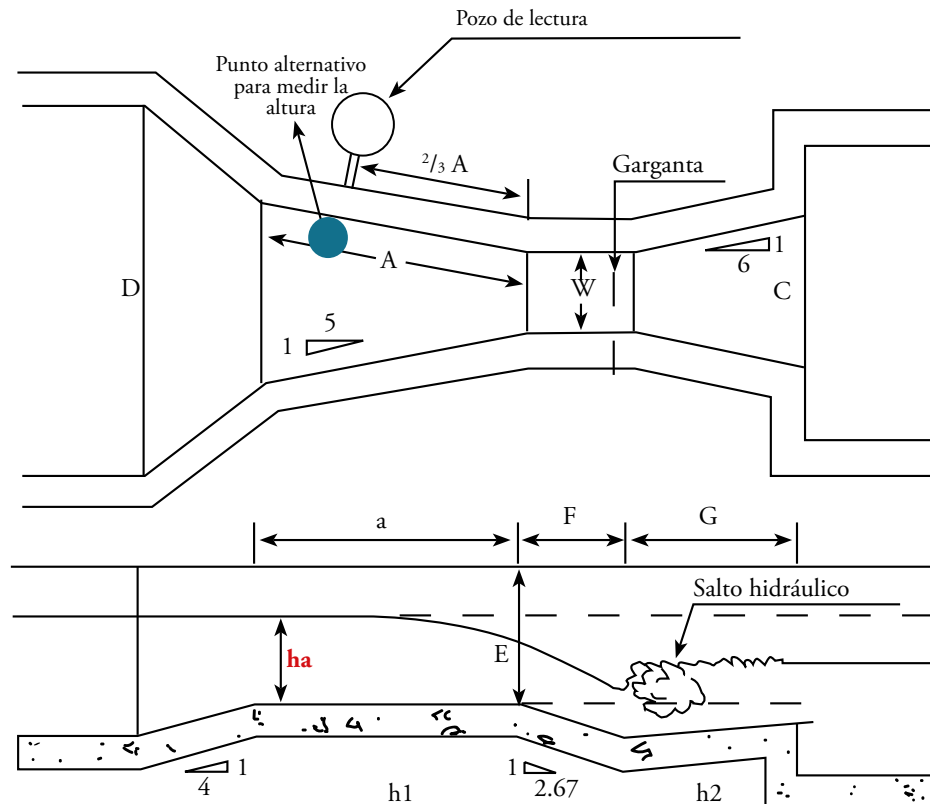
Lo interesante de esta forma es que la altura del tirante de agua que fluye por el canal de *Parshall* es proporcional al caudal. Es decir, la altura del agua que se mide indica el caudal (los litros por segundo) que entran por este dispositivo.



Se determina la altura en el pozo de lectura o pozo de calma. Este punto se encuentra a $2/3$ de la longitud completa de la entrada (A), medurado de la garganta hacia la entrada del canal. Se puede medir la altura del tirante de agua dentro del canal paralelamente al pozo de lectura, en caso de no existir.

La altura del agua determinada en este punto se usa para establecer el flujo. Para eso se requiere la tabla que corresponde al ancho de la garganta de *Parshall*, y que muestra para las diferentes alturas del tirante el caudal, a veces también se entregan un cálculo con lo que se usa la altura para calcular el caudal. La tabla generalmente la realiza la compañía que construyó el canal de *Parshall*. En su defecto, también se puede calibrar el canal, para si mismo a través de, por lo menos, cuatro mediciones del tirante de agua en el pozo de lectura con un caudal conocido.

FIGURA 30: CONSTRUCCIÓN DE UN CANAL DE PARSHALL CON SUS DIMENSIONES DEFINIDAS: W, F, G, A, E, ETC Y ADEMÁS CON LA ALTURA QUE SE MIDE (**ha**)



Método volumétrico mediante balde

El método volumétrico es bastante simple y funciona para pequeños caudales, en caso que exista una caída abierta que permita que se coloque el flujo en un balde. No es un método con una alta exactitud, pero brinda una idea general del volumen pasando por la PTAR.

Es importante conocer el volumen del recipiente usado. Por ejemplo, un balde de 11 litros (muchas veces en el lado interior del mismo existe una escala). Se recomienda que el balde esté limpio, además se necesita un cronómetro que tenga una o dos posiciones decimales; es decir, un cronómetro que tome los segundos, pero también las centésimas, por ejemplo: 2,42 segundos.

Se cronometra el tiempo cuando el primer chorro de agua entra al balde, y se termina cuando el balde esté lleno. Como esta información requiere de precisión, se necesita por lo menos dos personas, una que tome el tiempo y la otra que llene el recipiente. Estos segundos tomados con el cronómetro se usa para calcular el caudal. Por ejemplo, si en un balde de 11 litros se tardan 3,73 segundos, se divide 11 litros entre 3,73 segundos = 2,95 litros por segundo, es decir: 2,95 l/s.



Instrucciones del método volumétrico mediante balde

1



Se necesita un balde de volumen conocido, un cronómetro y dos personas.

2



Abrir la tapa del canal o tubería para llegar al flujo (si se encuentra tapado).

3



Acercar el balde al flujo.

4



Se toma el tiempo con el cronómetro cuando el balde empiece a llenarse. Este paso requiere de precisión.

5



En cuanto el balde esté lleno parar el cronómetro.



6



Se recomienda repetir la medición para conseguir varios datos. También se puede comparar la información midiendo el flujo con un balde de otro volumen.

7

Volumen	Tiempo
11 litros	2,12 s
11 litros	2,75 s
11 litros	2,14 s

Se anotan los resultados directamente para que no sean olvidados.

8

Dividir el volumen por el tiempo.

Medición con un balde de 11 litros:

11 litros: 2,12 segundos = 5,2 litros/segundo

11 litros: 2,7 segundos = 4,1 litros/segundo

11 litros: 2,14 segundos = 5,1 litros/segundo

11 litros: 2,02 segundos = 5,4 litros/segundo

Medición del mismo flujo con un balde de 8 litros:

8 litros: 1,7 segundos = 4,7 litros/segundo

8 litros: 1,5 segundos = 5,3 litros/segundo

9

Este método no tiene una exactitud absoluta. Es decir, en la segunda repetición (marcada con amarillo) se observa que una reacción lenta de la persona al manejar el cronómetro cambia los resultados completamente. Por esta razón, es importante repetir la medición 3 a 6 veces para tener una idea del resultado verdadero. En el ejemplo presentado se puede estimar que el caudal es 5 l/s, aproximadamente.





FIGURA 31: VERTEDERO DE AFORO HECHO DE HORMIGÓN



FIGURA 32: INSTALACIÓN DE UN VERTEDERO TEMPORAL CON UNA FORMA RECTANGULAR

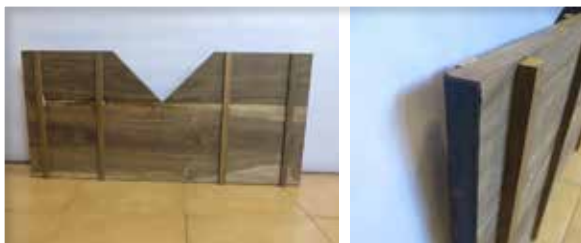


FIGURA 33: USO DE UN VERTEDERO DE AFORO HECHO A MANO CON UNA ESCOTADURA TRIÁNGULO DE 90 GRADOS CON BORDES DE GOMA PARA QUE SE ADAPTEN A LA CÁMARA .

Vertederos de aforo

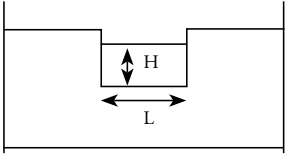
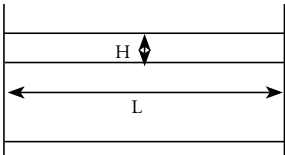
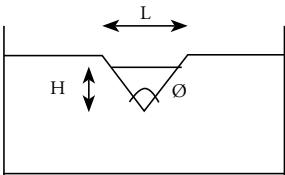
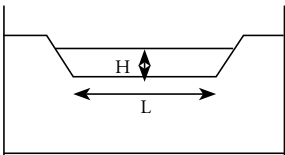
Para medir pequeños caudales se puede usar los vertederos de aforo. Estos son dispositivos hidráulicos que tienen una escotadura rectangular, trapezoidal o triangular. El agua pasa por esta escotadura, y el tirante que tiene el agua, medido desde el punto más profundo, indica el caudal.

Según la forma de la escotadura, es imprescindible usar distintos cálculos. Por ejemplo, para una escotadura triangular de 90° se puede estimar el caudal en litros por segundos: $1,4 \times [\text{Altura en cm}]$

La siguiente tabla muestra algunos ejemplos de diferentes escotaduras y cálculos que se usa para medir el caudal. (En el anexo 1 se muestra cómo se puede determinar el caudal).

Puesto que este método volumétrico tampoco tiene una exactitud del 100%, es recomendable usarlo con otros métodos de medición para poder comparar los resultados.



TIPO DE VERTEDERO	DIAGRAMA	ECUACIÓN
Rectangular con contracción		$Q = 1,83 * L * H^{1,5}$ $Q = \text{caudal en m}^3/\text{seg}$ $L = \text{longitud de cresta, m}$ $H = \text{cabeza en m}$
Rectangular sin contracción (cuando cae por una pared)		$Q = 3,3 * L * H^{1,5}$ $Q = \text{caudal en m}^3/\text{seg}$ $L = \text{longitud de cresta, m}$ $H = \text{cabeza en m}$
Triangular		$\phi = 90^\circ$ $Q = 1,4 * H^{5/2}$ $Q = \text{caudal en m}^3/\text{seg}$ $H = \text{cabeza en m}$ $\phi = 60^\circ$ $Q = 0,775 * H^{2,47}$ $Q = \text{caudal en m}^3/\text{seg}$ $H = \text{cabeza en m}$
Trapezoidal		<p>Si la pendiente de los lados tiene una relación 4 (vertical) / 1 (horizontal), se aplica:</p> $Q = 1,859 * L * H^{1,5}$ $Q = \text{caudal en m}^3/\text{seg}$ $L = \text{longitud de cresta, m}$ $H = \text{cabeza en m}$



Conceptos básicos de las aguas residuales

El caudal del día, es decir, los m^3/d , multiplicar con la concentración máxima que fue determinada respecto al parámetro DBO_5 (normalmente este valor se encuentra en el rango de 300 a 500 $\text{mg DBO}_5/\text{L}$). Nos muestran la carga de DBO_5 por día en kilogramos.

Definición de la población equivalente

La Población Equivalente es un método para sistematizar y definir las PTAR de acuerdo a la carga que entra a las mismas. En vez de conceptualizarlas a través de las conexiones realizadas, se mide la cantidad de carga orgánica, según el parámetro DBO_5 que ingresa en el transcurso del día. Para eso se usa la siguiente fórmula:

$$\text{Caudal diario } [\text{m}^3/\text{d}] \times \text{Concentración de } \text{DBO}_5 \text{ } [\text{g}/\text{m}^3] = \text{Carga de } \text{DBO}_5 \text{ por día } [\text{kg}]$$

m^3 = metros cúbicos, d = día, kg = kilogramo, $/$ = por, g = gramos

(Si el caudal diario es desconocido, en el anexo 2 se encuentra un ejemplo para determinar el mismo).

Por ejemplo:

Una PTAR tiene, como en el ejemplo del anexo 2, un caudal de $657 \text{ m}^3/\text{d}$ y una carga máxima de DBO_5 de 450 mg/L :

Primero, es importante cambiar la unidad de la concentración de mg/L a g/m^3 . Este cambio es sencillo, ya que mg/L y g/m^3 es lo mismo: $450 \text{ mg/L} = 450 \text{ g}/\text{m}^3$.

Segundo, multiplicar el caudal diario con la concentración máxima de DBO_5 : $657 \text{ m}^3/\text{d} \times 450 \text{ g}/\text{m}^3 = 295650 \text{ g DBO}_5 / \text{día}$ que entran a la PTAR.

Tercero, como 1.000 gramos son 1 kg, la PTAR recibe $295,7 \text{ kg DBO}_5$ por día.



Para calcular la Población Equivalente, se usa el valor de **0,054 kg de DBO₅/ día**, ya que cada individuo conectado a la PTAR emite 0,054 kg DBO₅ por día.

Eso permite calcular la Población Equivalente:

Los kilos de DBO₅ que llegan a la PTAR por día dividido entre 0,054 kg = Población Equivalente

Un ejemplo:

$$297,5 \text{ kg} / 0,054 \text{ kg} = 5.509$$

Significa que la PTAR tiene una carga de aprox. 5.510 personas equivalentes

¿Por qué se hace de esta manera?

En general, no es aconsejable que la industria y el comercio estén conectados a la PTAR, pero lastimosamente, en la realidad se observa lo contrario. Además, casi siempre los lavaderos de coches, restaurantes, mercados y pequeños mataderos tienen una conexión al alcantarillado, y causan una carga considerable. La diferencia es que la carga de origen industrial o del comercio, que también es de una sola conexión, no se puede comparar con la carga de una conexión de una vivienda, ya que la primera frecuentemente tiene una concentración mucho más alta. Asimismo, una sola conexión de una casa puede llevar la carga de una persona o de 50, si se trata de una conexión de un gran condominio. Por esta razón, no se puede conceptuar el tamaño de una PTAR por las conexiones realizadas, sino a través de la Población Equivalente que describe la carga por día que llega a una PTAR. De esta manera, se puede comparar el tamaño de diferentes PTAR correctamente.



Tipos de aguas residuales

En general, se diferencian los tipos de aguas residuales según el lugar de donde provienen. Si se habla sólo de agua residual, se refiere al conjunto de agua usada en los inodoros, la cocina, la ducha, las lavanderías, etc. Cabe resaltar que se puede hablar también de aguas grises y aguas negras.

Aguas grises: es el agua que se utiliza para ducharse, cocinar, lavar platos y ropa. Esta agua no está contaminada con heces fecales y orina, por lo tanto es considerada como gris.

Aguas negras: las aguas negras son solamente de los inodoros y urinarios, por lo tanto, llevan heces fecales y orina.

Existen sistemas domiciliarios que separan estos tipos de agua residuales para conseguir agua gris y agua negra. Así, se puede usar directamente el agua gris para riego después de una breve purificación, mientras que el agua negra es purificada profesionalmente en una PTAR.

Aguas industriales: asimismo, existe una clasificación más, que es el agua residual de las industrias. Bolivia cuenta con muchas aguas residuales provenientes de la minería, mataderos u otras fábricas que contienen contaminantes tóxicos de origen químico. Estas descargas de la industria tienen cualidades especiales que pueden afectar e interferir en la purificación de las aguas en la PTAR, como ser grasa, sangre o químicos agresivos.

Por lo tanto, se aconseja que las descargas industriales o del comercio sean purificadas separadamente de las aguas domésticas. En su defecto, también se puede instalar un pre-tratamiento directamente en el lugar de la planta industrial o del comercio, con el fin de disminuir la carga antes que se mezcle con las otras aguas en el alcantarillado y lleguen a la PTAR.

Se puede observar si una PTAR recibe cargas industriales por la concentración en el afluente. En el capítulo: *Composición del agua residual cruda*, la tabla 2 muestra los valores máximos de agua residual de origen doméstico.

Parámetros claves para determinar la eficiencia de una PTAR

A continuación se explica el significado de los parámetros importantes que se miden para calificar el efluente, que son referentes al agua tratada que sale de la PTAR.

1. pH

El pH es una medida de acidez o alcalinidad, que no tiene una unidad de medición. Sólo se habla del valor de pH que puede estar entre 1 y 14. El rango de 1 a 6 es ácido y de 8 a 14 es alcalino. Por ejemplo: el pH de un jabón se encuentra entre 8 y 10, y el zumo de un limón o naranja tiene más o menos un pH de 2.5 a 3. El agua potable tiene un valor aproximado de 7, lo que significa que es neutral.

El agua residual tiene otros valores. En general, el afluente, y también el efluente, están en un rango de 6,5 a 9. Fuera de este rango existe el riesgo que los procesos de una PTAR no funcionen bien. Además, si el pH está por debajo de 6,5 se corre el riesgo que se destruya el acero del hormigón.



Los valores fuera del rango normal son muchas veces causados por descargas de la industria y del comercio. Si existieran frecuentemente valores fuera del rango normal, es importante tomar medidas de prevención antes que la PTAR se dañe permanentemente. En caso que sea así, se recomienda hablar directamente con los usuarios de la industria y del comercio para poner solución al problema.

También es fundamental medir la temperatura del agua, ya que ésta influye en el valor del pH.

2. Temperatura

La temperatura tiene una influencia en todas las reacciones que suceden en una PTAR. Una temperatura más alta influye positivamente en las tasas de la biodegradación. Por lo tanto, un cambio en el clima puede causar una caída en la eficiencia de la PTAR.

Para tener buen conocimiento de las reacciones que suceden en una PTAR, es importante medir regularmente (cada quince días) la temperatura media.

3. Coliformes fecales o Coliformes termoresistentes

Los Coliformes fecales son un grupo de bacterias que indican la contaminación fecal del agua.

Una unidad de medición que determine la cantidad de Coliformes fecales es el NMP/100 ml, (Número Más Probable en un volumen de 100 mililitros). El NMP se refiere a un método microbiológico con el que se puede estimar la densidad de la población de este grupo de bacterias. Como es un método estadístico, se interpretan los resultados en órdenes de magnitud (por ejemplo: 5×10^3) y no de unidad (por ejemplo: 5750). Por ejemplo, 4.000 es el doble de 2.000, pero como el NMP/100 ml es un cálculo estadístico, sólo se estima la cantidad de los Coliformes fecales, que no resulta ser un dato exacto. En este caso, se utiliza la magnitud 2×10^3 que es 2.000, por eso 4.000 que representa 4×10^3 , tiene la misma magnitud. Esto significa que los dos valores son similares, ya que la magnitud es lo más importante.

El afluente de una PTAR muchas veces se encuentra en un rango de 10^6 a 10^9 NMP/100 ml, eso significa entre 1.000.000 a 1.000.000.000 Coliformes fecales en 100 mililitros. Referente al efluente de una PTAR, existe el valor límite de 10^3 NMP/100 ml, que son 1.000 Coliformes fecales por 100 mililitros.



4. DBO₅. (Cantidad de oxígeno consumida por la materia orgánica en el agua en un período de 5 días a 20 C)

La DBO₅ indica la carga orgánica contenida en el agua, que puede ser oxigenada por **medios biológicos durante 5 días**. Entonces, es un parámetro indirecto que indica cuánta materia orgánica está dentro del agua.

Es fundamental controlar regularmente el DBO₅ del efluente, para saber qué cantidad sale de la PTAR. Se mide este parámetro en la concentración de miligramos por litro (mg/L).

5. DQO. (Cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar la materia contenida en el agua con oxidante químico)

La DQO muestra la carga contenida en el agua, que puede ser oxigenada por medios químicos. La DQO siempre es más alta que la DBO₅, ya que el DQO contiene el DBO₅.

6. Sólidos Suspendidos Totales (SST)

Los sólidos suspendidos en el agua son las partículas que pueden causar la turbiedad o el color. Se las mide con una filtración del agua, después se seca el filtro usado y se pesa para ver cuántos miligramos de sólidos fueron retenidos por el mismo. El resultado se mide por mg de sólidos suspendidos por litro filtrado (mg/L).

Las partículas pueden ser acumulaciones de bacterias, lodo y algas. Por ejemplo, una PTAR que consiste de lagunas, muchas veces el efluente es de color verde por las algas. En este caso, pueden causar valores altos en el parámetro de sólidos suspendidos.

Estos seis parámetros son básicos, es decir claves, para definir la eficiencia de una PTAR de lagunas, y tienen que ser determinados cuando se saca una muestra del afluente y del efluente.

Cabe resaltar que el sistema de lagunas no está construido para conseguir una reducción del nitrógeno y del fósforo.

Se aconseja determinar los valores de metales pesados, como: arsénico, mercurio, etc. sólo si la presencia y la concentración de estos metales son conocidos y preocupantes, por ejemplo por una presencia geológica de estos mismos en el suelo.



Los nutrientes nitrógeno y fósforo

Estos dos elementos químicos son imprescindibles para el crecimiento de las plantas en el agua y en el suelo, ya que sirven como nutrientes. De esta manera, una mayor concentración de los dos puede provocar un crecimiento explosivo de algas en el agua.

Nitrógeno

El nitrógeno que existe en el agua residual tiene diferentes formas químicas que son: NH_4^+ , NH_3 , NO_3^- , NO_2^- y el que se encuentra en compuestos orgánicos.

Una PTAR equipada puede reducir el nitrógeno en grandes cantidades, a través de la nitrificación y de la denitrificación. Esto no es posible en una PTAR de lagunas, aunque por procesos bioquímicos, siempre existe una pequeña reducción de este parámetro.

Fósforo

Normalmente se encuentran sólo pequeñas concentraciones de compuestos de fósforo en las aguas naturales. Sin embargo, el agua residual contiene mucho fósforo, la mayoría en forma de orthofosfato (PO_4^{3-}). Esta carga se debe a las excretas humanas y a los detergentes usados. Para reducir la carga de fósforo en una PTAR existen sistemas de tratamiento que se pueden implementar, pero como se mencionó, una PTAR de lagunas no puede reducir este parámetro en grandes cantidades.

Composición del agua residual cruda

Aunque el agua residual cruda parece bastante contaminada, contiene 99,9% de agua. La materia sólida mantenida está constituida por 70% de sustancias orgánicas, como proteínas, grasas y carbohidratos; mientras que el 30% es materia mineral insoluble e inorgánica, como arena, arcilla y gravas.

En general, no es complicado evaluar la composición del agua residual en cuanto a la concentración causada por heces fecales y orina. Eso es porque todos los seres humanos emiten cada día carga orgánica, fósforo y nitrógeno. Entonces, si se sabe cuanta gente está conectada al alcantarillado, y a la vez, la cantidad de agua potable consumida por persona y día, se puede calcular fácilmente la concentración.



La cantidad consumida de agua potable depende de los diferentes pisos ecológicos, es decir, existen grandes diferencias entre el consumo de una persona que vive en Santa Cruz y una persona que vive en Cochabamba o El Alto, en el campo o en la ciudad. Por ejemplo, si una persona vive en el campo del altiplano, se calcula entre 30 a 50 litros por día. Por el contrario, una persona que vive en la ciudad de Santa Cruz usa entre 250 a 350 litros por día.

Más o menos, el 70 % del agua potable que es consumida sale de los hogares, a través del alcantarillado a la PTAR, el resto se usa para regar plantas o limpiar el automóvil y de esta manera no llega al alcantarillado. Esto significa que el consumo de 220 litros por día que usa aproximadamente una persona que vive en Cochabamba causa un volumen de más o menos 150 litros que llega a la PTAR. Esos 150 litros contienen carga orgánica, nitrógeno, fósforo y bacterias.

La mayoría del nitrógeno está en la orina, así como el 55% del fósforo. La carga orgánica se encuentra en los fecales. Esta mezcla causa la concentración que llega a la PTAR, y la que se puede determinar a través del análisis.

A continuación, en la siguiente tabla se presenta algunos resultados de los diferentes parámetros que fueron determinados en el agua cruda que llega a 15 diferentes PTAR en toda Bolivia.

TABLA 1: RANGOS Y PROMEDIOS DE LOS VALORES DETERMINADOS EN EL AGUA CRUDA

Parámetro	Promedio o rango normal de agua cruda, es decir del afluente de una planta	Rango medido en el afluente de 15 diferentes plantas en Bolivia
DQO	600 mg/L	270 – 1400 mg/L
DBO ₅	350 mg/L	90- 670 mg/L
Sólidos Suspendidos Totales	270 mg/L	130 – 450 mg/L
Conductividad	1650 μ S/cm	1200 – 3500 μ S/cm
pH	6,5 – 8,0	6,3 – 8,5
Oxígeno disuelto	0 -2 mg/L	0 – 16 mg/L
Coliformes termoresistentes (fecales)	$5 \times 10^6 - 5 \times 10^8$ NMP/100 ml O sea: 5.000.000 – 500.000.000 bacterias según el método “número más probable” en 100 mililitros”	$8 \times 10^4 - 9 \times 10^7$ NMP/100 ml O sea: 8.000 – 90.000.000 bacterias según el método “número más probable” en 100 mililitros”



Como se puede observar en la Tabla 1, los resultados medidos no siempre cumplen con la teoría, es decir, con el rango esperado. Eso se debe a la dilución por el agua pluvial o las descargas industriales que pueden causar gran dilución, pero también altas concentraciones en distintos parámetros.

Una influencia industrial se muestra en las altas concentraciones de parámetros que normalmente no se encuentran en el agua residual cruda, por ejemplo: plomo, cromo, sulfuro y mercurio. Asimismo, es muy probable una influencia de la industria si los valores de la tabla 2 **son sobrepasados frecuentemente** del afluente de una PTAR.

TABLA 2: VALORES MÁXIMOS PARA AGUA CRUDA DEL ORIGEN DOMÉSTICO

Parámetro	Valores límites para el agua residual de origen doméstico. Indicadores para descargas industriales, si estos valores son sobrepasados frecuentemente de la concentración medida en el afluente de una PTAR
DQO	800 mg/L
DBO ₅	500 mg/L
Sólidos Suspendedos Totales	450 mg/L
pH	8,5 (y si el pH es menos que 6,5)

En caso que exista una descarga industrial, es importante aclarar de dónde proviene, y si la PTAR puede soportarla.

Requerimientos según la Ley de Medio Ambiente

Demandas a la calidad del efluente de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR)

En la Ley y reglamento del medio ambiente N° 1333 indica el “Reglamento en materia de contaminación hídrica”, en donde describe las clases de cuerpos de agua (ríos, arroyos y lagos), que son usados como cuerpos receptores, es decir, reciben el agua tratada por la PTAR.

Las clases mencionadas en esta Ley dependen de la calidad de los cuerpos receptores. Existen cuatro clases que tienen diferentes valores límites para cada parámetro relevante.

Ya que muchos cuerpos de aguas no tienen una clase definida profesionalmente, existe otra alternativa referencial basada en una tabla. A continuación se puede encontrar los valores límites válidos para el efluente de las PTAR:



Parámetro	Valores límites para descargas líquidas [mg/L]
DBO ₅	80
DQO	250
SST	60
Coliformes fecales	1.000 NMP/100 ml

Frecuencia recomendable de la toma de muestras

En general, se aconseja sacar dos muestras, una del afluente y una del efluente. Es importante que de ambas muestras se controlen los parámetros claves para determinar la eficiencia de la PTAR. En cuanto a la frecuencia del muestreo, es importante diferenciar los tamaños de las PTAR, ya que las grandes emiten más carga y, por lo tanto, necesitan más control sobre la eficiencia de la misma.

Tamaño de la PTAR en Población Equivalente en la unidad EH	Frecuencia del control / de la toma de las muestras por año
2.000 – 10.000 EH	6 muestras (bimestral)
10.000 – 50.000 EH	de 8 a 10 muestras
50.000 – 500.000 EH	≥ 12 muestras (cada mes, es decir por lo menos 12 muestras)
Mayor a 500.000 EH	≥ 24 muestras (es decir, por lo menos 24 muestras)

Si aún no se determinó el tamaño según la Población Equivalente (PE), se puede trabajar con el número de las conexiones multiplicado por cinco.



Peligro de los gases y de las salpicaduras

En el tema de los gases y olores existen muchas equivocaciones en cuanto al peligro y a la protección. se explican los diferentes tipos de gases, el posible riesgo y las formas de protegerse.

a) Cámaras sépticas o de inspección o reactores anaeróbicos

Estos dispositivos no tienen una atmósfera que sea apta para los seres humanos, ya que casi siempre se encuentran cerrados y separados del flujo normal del aire. Si una persona ingresa dentro de estos dispositivos, existe el peligro que se desmaye o que muera por la falta de oxígeno y por la mezcla de diferentes gases que se encuentran ahí. Esta situación ya ha causado muchas muertes entre operadores que entraron a una cámara, se desmayaron y ahogaron. Aún peor, a veces los colegas también murieron por la misma causa mientras intentaban salvar la vida del operador desmayado.

Para evitar estos sucesos fatales, es fundamental tomar en cuenta algunas reglas sencillas: abrir la tapa de la cámara o del reactor por lo menos dos horas antes de ingresar al mismo. Además, eso solo se debe realizar con el equipo adecuado y la protección personal, así como con un arnés en caso que requiera ser rescatado.

Cabe mencionar que esta operación de rescate requiere por lo menos de dos personas que sean aptas para auxiliar (sacar) al operador desmayado de la cámara.



b) ¿Cómo inspeccionar las redes de colectores y cámaras?

Las cámaras de inspección permiten el ingreso a la red de colectores y cámaras para su inspección y limpieza.

Para encarar esta tarea, los operarios deben tener como mínimo el siguiente equipo de protección: un par de botas, guantes, overol, máscara, un casco.



El procedimiento para llevar a cabo la tarea de inspección es el siguiente:

c) Ingreso a las cámaras de inspección

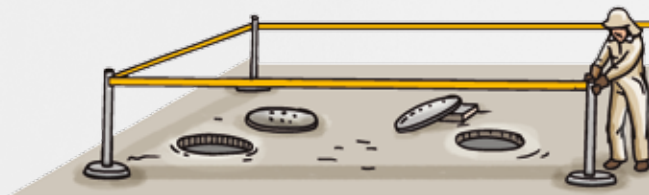
Se identifica en los planos del sistema el tramo a ser inspeccionado. Se identifican las cámaras de inspección aguas arriba y aguas abajo de dicho tramo.

La cámara de inspección debe ser ventilada antes de ingresar a ella. Como medida de protección, al menos dos horas de ingresar se abren las tapas de las cámaras de inspección anterior posterior del tramo a inspeccionar. Para ahorrar tiempo se pueden abrir al mismo tiempo varias cámaras de inspección.

La inspección debe comenzar lo más abajo posible de la red y progresar aguas arriba.



d) Tras dos horas de ventilación...



Abrir el pozo de registros que se desea inspeccionar y también los pozos anterior y posterior



El operario que se introduce en el pozo debe estar atado con una cuerda de salvamento y sostenido por dos compañeros o directamente con un arnés.



En el fondo de la cámara, el operario debe realizar sus obras con cuidado y sin agitar innecesariamente el lodo o cieno.



En caso de emergencia, tirar de la cuerda de salvamento; no se debe entrar en auxilio del compañero.



FIGURA 34: OPERADOR LIMPIANDO EL TANQUE DE UNA PTAR SIN BARBIJO, CORRIENDO EL RIESGO DE TENER UNA INFECCIÓN POR LAS SALPICADURAS

e) El olor

Es importante recalcar que el mal olor que proviene de las lagunas no es peligroso si la persona se encuentra al aire libre, por lo tanto no se necesita ninguna protección. Pero, en un espacio cerrado, como en una cámara séptica, el mal olor indica peligro por la presencia de gases y la ausencia de oxígeno, el cual puede provocar desmayo, y el uso de un barbijo no ayuda en una situación así.

f) El peligro de salpicaduras – ¿En qué situación se necesita un barbijo?

El barbijo sirve para proteger al operador del polvo, que normalmente no existe en los espacios de una PTAR o del alcantarillo, así como de salpicaduras y de esta manera de suciedades infecciosas que pueden entrar a la boca y nariz. Por ejemplo, se corre el riesgo que llegue a la cara cuando se agita el agua o se saca lodo del fondo de una tubería, o del desarenador cuando se limpia o mantiene una cámara séptica. En estas situaciones salpicaduras de agua y lodo vuelen por todos lados y pueden llegar a los mucosas que tienen un alto riesgo de ser infectadas, por lo tanto, en una situación así, el barbijo es necesario para protegerse de partículas infecciosas.

En cambio no es necesario usar un barbijo en una PTAR, si no se realiza ninguna obra.



Siglas, definiciones y explicaciones

Afluente: el agua cruda que viene de los hogares y llega por el alcantarillado a la PTAR. El afluente contiene heces fecales, cuerpos gruesos, arena y lodo, ya que aún no ha sido purificado.

Amoniaco: compuesto químico con la sigla NH_3 . Su concentración en cuerpos receptores depende del valor pH. Con un valor pH creciente, el amonio es convertido en amoniaco. Generalmente, el amoniaco es tóxico para los organismos en las aguas, y cuando sube el valor pH crítico ($>10,5$), indica la muerte de peces.

Amonio/Amónico: compuesto químico con la sigla NH_4 . Su concentración en cuerpos receptores depende del valor pH. Con un valor pH creciente, el amonio es convertido en amoniaco. Por eso, es importante evitar concentraciones altas en combinación con valores pH altas.

Bacterias: organismos que existen con sólo una célula. Las bacterias que viven en las PTAR comen la carga orgánica para su alimentación.

En una PTAR existen diferentes tipos de bacterias. Algunas necesitan oxígeno para vivir, otros no pueden existir con oxígeno disuelto en el agua, los últimos viven en la laguna anaeróbica. Existe un tercer grupo que puede vivir con oxígeno, pero son tan flexibles que también sobreviven sin oxígeno.

Biodegradación: reducción de sustancia por organismos biológicos.

Carga orgánica: cantidad de todo el material orgánico (compuesto de carbono) contenido en el agua residual.

Caudal: volumen de agua que llega a la planta (afluente) o sale de la planta (efluente). Generalmente, el caudal del efluente es menor por la evaporación. Su unidad es L/s o m^3/s , pero también m^3/hr .

Coliformes termoresistentes (Coliformes fecales): bacterias que generalmente viven en el intestino humano y son inofensivos. Son usados para indicar la contaminación humana-fecal en el agua. La presencia de coliformes termoresistentes puede apuntar otras contaminaciones humanas. Su unidad con respecto al agua residual es NMP/1000ml.

Frecuentemente se usa también el nombre “Coliformes fecales”, aunque no es el término correcto, es muy común.



Conductividad: magnitud física que representa la capacidad de una sustancia para conducir corriente. De la conductividad se puede calcular el contenido de sal con respecto al agua residual. Su unidad es S/m (Siemens por metro).

Cuerpos receptores: arroyos, ríos, lagos y acuíferos que reciben el flujo que sale de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

d: la sigla para “día”. Se usa en cálculos. Por ejemplo para describir la carga en kilogramos que entra por día: kg/d

DBO₅: la cantidad de oxígeno consumida por la materia orgánica en el agua en un período de 5 días a 20 °C. Su unidad es mg/L (miligramos oxígeno por litro).

DQO: la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar la materia contenida en el agua con oxidante químico. El DQO es más alto que el DBO₅ porque el DQO contiene el DBO₅. Su unidad es mg/L (miligramos oxígeno por litro).

Efluente: el agua tratada y purificada que sale de la PTAR al cuerpo receptor. Aunque es tratada, todavía tiene un potencial de infecciones, por lo tanto, se sugiere usar guantes desechables y ropa de trabajo cuando se tiene contacto con el efluente.

EH: la sigla para “Equivalentes habitante”. Unidad de la población equivalente. Muestra cuántas personas son necesarias para emitir la carga que llega a la PTAR (Más detalles: PE).

Fosfato: compuesto químico con la sigla PO₄. Las concentraciones altas de este nutriente causan un intenso crecimiento de algas en los cuerpos receptores, lo que puede indicar la muerte de peces debido de la falta de oxígeno.

g: sigla para gramos.

Gérmenes: agentes que pueden producir enfermedades o daño a la biología de humanos, animales o plantas.

Helmintos: gusanos parásitos que producen enfermedades o daños a la biología de humanos. Con respecto al tratamiento de agua residual, es imprescindible eliminar sus huevos. El contacto con un huevo de estos es suficiente para infectarse.

hr: sigla para horas.

kg: sigla para kilogramos.

Lecho de secado: un método de tratamiento de lodo residual para reducir el volumen del lodo. Por el sol, el agua del lodo se evapora y el volumen disminuye para que los costos de transporte del lodo bajen.

m³: sigla para metros cúbicos.



Membrana impermeable/geomembrana: capa de plástico para que el agua de las lagunas no pueda atravesar y causar una contaminación del suelo.

mg/L: miligramos por litro.

min: sigla para minutos.

ml: sigla para mililitros.

L: sigla para litros.

Nitrato: compuesto químico con la sigla NO_3^- . Concentraciones altas de este nutriente causan un intenso crecimiento de algas en los cuerpos receptores, lo que puede indicar la muerte de peces debido a la falta de oxígeno.

Nitrito: compuesto químico con la sigla NO_2^- . Por reacción química, el nitrato se puede convertir en nitrito. Nitrito es una sustancia tóxica, por lo que se debe evitar concentraciones altas en agua potable.

NMP / 100 ml: Número Más Probable de bacterias en un volumen de 100 mililitros.

Oxígeno disuelto: cantidad de oxígeno que el agua tiene. Su unidad es mg/L (miligramos oxígeno por litro).

Parásitos: organismos que afectan otros organismos para sustentarse de ellos sin matarlos. Pueden producir enfermedades.

Patógeno: organismo que produce enfermedades en otros organismos.

Población Equivalente (PE): método para sistematizar el tamaño de una PTAR, según la carga que entra a la misma. Ésta carga dividida por el montón de DBO_5 que emita una persona cada día resulta como la población equivalente, que también considera las descargas de la industria y del comercio. La unidad es EH “equivalentes habitante”.

PTAR: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

Radiación ultravioleta: parte integrante de los rayos solares, no es visible para los humanos y puede causar cáncer de piel sin medidas preventivas. La desinfección del agua residual con luz ultravioleta funciona ya que la radiación penetra al material genético (ADN) de un organismo (bacteria, virus), lo que destruye la habilidad de reproducción. Es imprescindible que los operantes de una PTAR usen gafas de protección cuando trabajen con luz ultravioleta.

Salinidad: contenido de sal en el agua. Su unidad es g/kg.

SST: Sólidos Suspendedos Totales son todas las partículas contenidas en el agua. Su unidad es mg/L.



Tanque de Imhoff: un dispositivo primario de una PTAR que funciona similar a un tanque séptico. Los sólidos en le agua se sedimenta ahí y el lodo se acumula al fondo donde se halla una digestión de lo mismo.

Turbiedad: dependiente de la cantidad de SST. Con más SST, el agua parece más turbia/ menos claro. Una unidad común es NTU (unidad nefelométrica de turbidez).

Virus: organismos patógenos que pueden multiplicarse sólo en células de otros organismos. En comparación a las bacterias, se necesita menos virus para causar enfermedades.

$\mu\text{S}/\text{cm}$: unidad que describe la cualidad del agua para transportar la energía, que funciona mejor si existen más sales disueltas, es decir, es una unidad que describe indirectamente la salinidad del agua.



Anexo 1:

Cálculo del caudal con un vertedero de aforo

Si existe un vertedero de aforo con un ángulo de 90°, se debe usar el cálculo:

$$Q = 1,4 * H^{\frac{5}{2}}$$

Q es el caudal en metros cúbicos/segundo [m^3/s], asimismo,
 Q es lo que queremos saber

H es la altura del agua sobre el punto más bajo del triángulo.
Es importante medir la altura en metros.

Por ejemplo:

Como altura del agua sobre el punto más bajo del triángulo se ha medido 9 centímetros. Pero para el cálculo no se debe usar centímetros sino metros. Entonces es importante cambiar los 9 centímetros en metros:

Otros ejemplos:

14 centímetros = 0,14 metros

50 centímetros = 0,5 metros

Un metro tiene 100 centímetros, por lo tanto 9 cm = **0,09 metros**

$$Q = 1,4 * H^{\frac{5}{2}}$$

$$Q = 1,4 * 0,09^{\frac{5}{2}}$$



Los 0,09 metros son elevados a $\frac{5}{2}$ (5 dividido por 2),

Eso es lo mismo como 2,5:

$$Q = 1,4 * 0,09^{2,5}$$

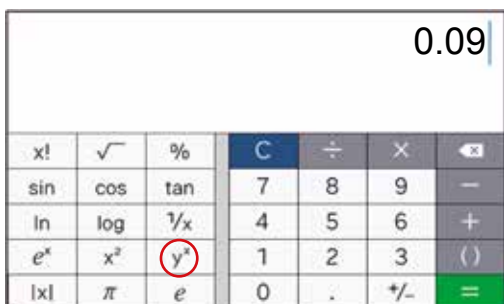
Primero se calcula 0,09 elevada a 2,5



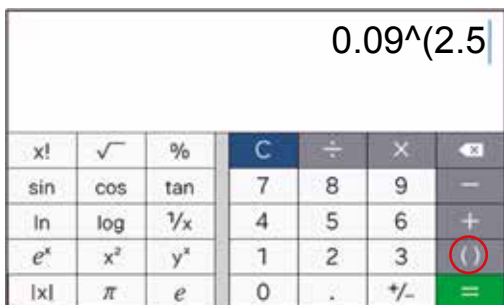


Se puede usar una calculadora científica o un celular para el cálculo. En caso del celular se debe cambiar del modo sencillo hacia el modo científico.

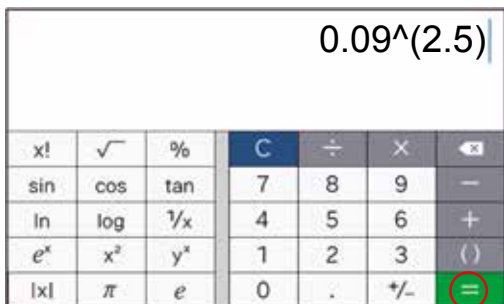
2 ejemplos para cambiar el modo en la calculadora de su celular:



Escribir el número y después pulsar la tecla y^x



Escribir el 2,5 en paréntesis, cerrarlos y pulsar “=”



El resultado (En este caso 0,00243) se multiplica directamente con 1,4, así se logra el resultado de este ejemplo, que es 0,003402 metros cúbicos por litro [m³/s].

Para cambiar el resultado de m3/s a litros / segundo [l/s], multiplicar este resultado por mil.

0.00243x1.4						
x!	√	%	C	÷	x	←x
sin	cos	tan	7	8	9	−
ln	log	1/x	4	5	6	+
e ^x	x ²	y ^x	1	2	3	()
x	π	e	0	.	+/-	=

Por lo tanto, el resultado final es: 3,4 l/s pasan por el vertedero de aforo.

0.003402x1,000 =3.402						
x!	√	%	C	÷	x	←x
sin	cos	tan	7	8	9	−
ln	log	1/x	4	5	6	+
e ^x	x ²	y ^x	1	2	3	()
x	π	e	0	.	+/-	=



Anexo 2:

Cálculo del caudal de un día

Se puede determinar el caudal total que llega a una PTAR en el transcurso de un día a través de un canal de Parshall , un vertedero de aforo o una medición con balde.

Con uno de los métodos presentados, se mide el caudal 4 a 5 veces por día, como se muestra en la siguiente tabla, para saber el caudal promedio.

Caudal [l/s]	Hora
9	7:30
6	11:00
8,5	14:30
7	17:00

Siempre se calcula el promedio de diferentes valores a través de la suma de los mismos, dividido por la cantidad de los valores.

En este ejemplo, como se tiene cuatro diferentes valores el cálculo es lo siguiente:

$$(9 + 6 + 8,5 + 7) / 4 = 7,6$$

El promedio de estas cuatro mediciones es aproximadamente 7,6 litros por segundo. Para saber cuántos litros son por día, multiplicar este valor por 60. Así se consigue los litros por minuto.



$$7,6 \text{ L/s} \times 60 = 456 \text{ litros por minuto}$$

Como son 60 minutos por hora, multiplicar el resultado otra vez por 60, para saber los litros por hora que llegan a la PTAR.

$$456 \text{ L/min} \times 60 = 27.360 \text{ litros por hora}$$

El último paso es el cálculo de los litros por día. Cada día tiene 24 horas y ya sabemos los litros por horas, por lo tanto sólo hay que multiplicar el resultado por 24.

$$27.360 \text{ L/hr} \times 24 = 656640 \text{ L/día}$$

Estos 656640 litros que llegan a la PTAR cada día son 656,6 m³/día – como un metro cúbico [1m³] tiene 1000 litros

Finalmente se consigue así los m³/ día: 656,6 m³/d



Tablas para verificar los trabajos realizados con firma hasta la fecha actual del ejemplo

Firmas de tres operadores diferentes																														
Obras regulares	01-abr	02-abr	03-abr	04-abr	05-abr	06-abr	07-abr	08-abr	09-abr	10-abr	11-abr	12-abr	13-abr	14-abr	15-abr	16-abr	17-abr	18-abr	19-abr	20-abr	21-abr	22-abr	23-abr	24-abr	25-abr	26-abr	27-abr	28-abr	29-abr	30-abr
Limpieza de la rejilla mañana	AC	OP	BP	BP	AC	OP	BP	AC	OP	AC	BP	OP	BP	AC																
Limpieza de la rejilla tarde	AC	OP	BP	BP	AC	OP	BP	AC	OP	AC	BP	OP	BP	AC																
Remoción de las grasas + los sedimen- tos delante de la rejilla							AC							AC																
Remoción de los sedimentos del desarenador																														
Muestra compuesta + microbiológica													BP																	
Ronda de control por PTAR (Control de salida, entrada, lagunas, guantes, desinfectante)		OP							AC																					
Acaecimientos extraordinarios (apagón, poco caudal, olor fuerte, ...)	3 de abril, 10:30: Olor químico cerca de la entrada. No cambió el color del agua.																													
	9 de abril, 12:00: Rata muerta a lado de rejilla.																													
	13 de abril, 15:00: Mucha lluvia, tuvimos que abrir el by-pass.																													
Obras de mantenimiento	Lubrificación: Cada tres meses. Remoción de la vegetación: Por lo menos cada cuatro meses																													
Remoción de la vegetación					OP	OP	OP																							
Lubrificación de la corredera del distribuidor		BP																												
Aplicación de anticorrosión encima de las correderas y rejillas																														
Lluvia +++ / 0	+++	+	+	0	0	0	+	0	0	0	0	0	+++	++																

+++ = mucha lluvia + = Chubasco/chilche
++ = lluvia 0 = No hubo lluvia



Ejemplo de un calendario de las obras de una PTAR de 6.000 EH

Ejemplo de una planificación anual de las Obras para una PTAR de 6.000 EH (Equivalentes habitante)

- OBRA 1

MES X

OBRA 2
- Ejecute Obra 1 y Obra 2 algún día/ algunos días del Mes X

Elegir uno o dos días de la semana para realizar la limpieza de la rejilla.



RONDA DE CONTROL

Revise la condición de la PTAR, si todo está funcionando bien.
Si es necesario, limpie las lagunas de cosas flotantes y de nata con un RASTRILLO.
Si es necesario, limpie la cámara de distribución sacando la basura, la grasa y carga orgánica con una PALA y una CARRETILLA.
Además revise si hay suficiente desinfectante y guantes desechables.
Mueva las compuertas y válvulas para que no se atasquen



MUESTRAS

Tome una muestra compuesta y microbiológica



LIMPIEZA ENTRADA

Saque los sedimentos delante de la rejilla con una PALA y pongalos a una CARRETILLA. Deposite los residuos de la carretilla en el área del almacenamiento. Para la limpieza se necesita PROTECCIÓN PERSONAL (ropa profesional, guantes, botas de goma).



DESARENADOR

Cuando las bombas estén apagadas limpie el desarenador echando la arena a una CARRETILLA con una PALA y después téngalo al almacenamiento. Para la limpieza se necesita PROTECCIÓN PERSONAL (ropa de trabajo, guantes, botas de goma).



VEGETACIÓN

Realice la poda de la vegetación en la planta, especialmente por el área ribereña de las lagunas.



LUBRIFICACIÓN

Lubrifique todas las correderas de la entrada, del desarenador y de la cámara de distribución



ANTICORROSIÓN

Aplice anticorrosivo a todas las partes férricas de la entrada, de la rejilla, del desarenador y de la cámara de distribución.

Enero	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
	27	28	29	30	31									
Febrero	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
	24	25	26	27	28									
Marzo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
	29	30	31											
April	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
	26	27	28	29	30									
Mayo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
	24	25	26	27	28	29	30	31						
Junio	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
	28	29	30											
Julio	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
	26	27	28	29	30	31								
Agosto	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
	23	24	25	26	27	28	29	30	31					
Septiembre	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
	27	28	29	30										
Octubre	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	25	26	27	28	29	30	31							
Noviembre	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Diciembre	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
	27	28	29	30	31									

Anexo 3b:

Ejemplo de un calendario de las obras de una PTAR de 30.000 EH

Ejemplo de una planificación anual de las Obras para una PTAR de 30.000 EH (Equivalentes habitante)

- OBRA 1

MES X

OBRA 2
- Ejecute Obra 1 y Obra 2 algún día/ algunos días del Mes X

Elegir uno o dos días de la semana para realizar la limpieza de la rejilla.



RONDA DE CONTROL

Revise la condición de la PTAR, si todo está funcionando bien.
Si es necesario, limpie las lagunas de cosas flotantes y de nata con un RASTRILLO.
Si es necesario, limpie la cámara de distribución sacando la basura, la grasa y carga orgánica con una PALA y una CARRETILLA.
Además revise si hay suficiente desinfectante y guantes desechables.
Mueva las compuertas y válvulas para que no se atasquen



MUESTRAS

Tome una muestra compuesta y microbiológica



LIMPIEZA ENTRADA

Saque los sedimentos delante de la rejilla con una PALA y pongalos a una CARRETILLA. Deposite los residuos de la carretilla en el área del almacenamiento. Para la limpieza se necesita PROTECCIÓN PERSONAL (ropa profesional, guantes, botas de goma).



DESARENADOR

Quando las bombas estén apagadas limpie el desarenador echando la arena a una CARRETILLA con una PALA y después transpórtelo al almacenamiento. Para la limpieza se necesita PROTECCIÓN PERSONAL (ropa de trabajo, guantes, botas de goma).



VEGETACIÓN

Realice la poda de la vegetación en la planta, especialmente por el área ribereño de las lagunas.



LUBRIFICACIÓN

Lubrifique todas las correderas de la entrada, del desarenador y de la cámara de distribución



ANTICORROSIÓN

Aplique anticorrosivo a todas las partes ferreas de la entrada, de la rejilla, del desarenador y de la cámara de distribución.

Enero	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
	27	28	29	30	31									
Febrero	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
	24	25	26	27	28									
Marzo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
	24	25	26	27	28	29	30	31						
April	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
	28	29	30	31										
Mayo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	25	26	27	28	29	30	31							
Junio	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Julio	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
	27	28	29	30	31									
Agosto	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
	24	25	26	27	28	29	30	31						
Septiembre	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
	28	29	30											
Octubre	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
	26	27	28	29	30	31								
Noviembre	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
	23	24	25	26	27	28	29	30						
Diciembre	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
	28	29	30	31										



Anexo 4:

Mantenimiento y operación de una PTAR

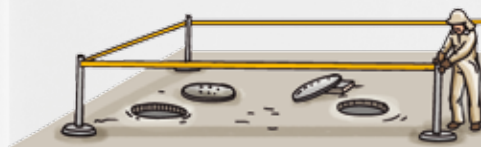
La inspección de una cámara o del cárcamo siempre se realiza entre tres personas, una sogá o cuerda de salvamento.



La protección personal que se necesita para trabajar en una PTAR:



Tras dos horas de ventilación...



Abrir el pozo de registros que se desea inspeccionar y también los pozos anterior y posterior



El operario que se introduce en el pozo debe estar atado con una cuerda de salvamento y sostenido por dos compañeros



En el fondo del pozo, el operario no debe agitar el cieno ni el fango



En caso de emergencia, tirar de la cuerda de salvamento; no se debe entrar jamás en auxilio del compañero



Limpieza de la rejilla y de la entrada:



Limpieza de los sedimentos antes de la rejilla:



Uso del almacenamiento:



Arena y lodo del
desarenador



Almacenamiento

Corte de la maleza, limpieza del cerco:





Ministerio de Medio Ambiente y Agua
Calle Capitán Castrillo N° 434
entre 20 de Octubre y Héroes del Acre
Teléfono: 2115571
www.mmaya.gob.bo



Implementada por:

giz

Programa para Servicios Sostenibles
de Agua Potable y Saneamiento
en Áreas Periurbanas (PERIAGUA)