

## **CAPÍTULO I**

### **EL PROYECTO**

#### **1.1 SELECCIÓN Y DEFINICIÓN DEL TEMA DEL PROYECTO**

**Título del proyecto:**

“DISEÑO HIDRÁULICO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO PARA EL REUSO DEL AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA EN RIEGO DE ÁREAS VERDES EN EL PARQUE MIRADOR HÉROES DE LA INDEPENDENCIA (SENAC)”

**Localización:**

El mirador HÉROES DE LA INDEPENDENCIA más conocido como mirador de Moto Méndez pertenece al barrio SENAC se encuentra ubicado en el distrito 13 de la capital de Tarija, provincia Cercado, Departamento de Tarija del Estado Plurinacional de Bolivia.

**Límites**

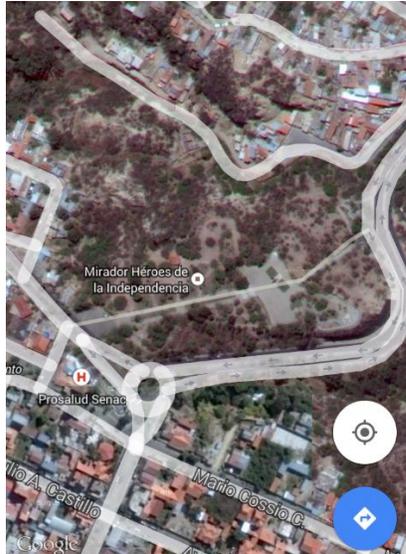
Norte: Barrio Méndez Arcos

Este: Barrio San Martín

Sur: Barrio Germán Buch

Oeste: Barrio SENAC y Barrio Luis de Fuentes

## **Ilustración 1.1 Vista satelital del área de estudio Parque Mirador Héroes de la Independencia**



*FUENTE: vista satelital, google earth*

### **1.1.1 ANTECEDENTES PRELIMINARES DEL TEMA**

En los últimos años, debido a la creciente escasez de agua fresca, la necesidad de proteger el medio ambiente y aprovechar económicamente los residuales se ha promovido internacionalmente el re uso de efluentes, que consiste en la utilización planificada de estos en actividades como:

- Riego agrícola, de áreas verdes en parques, cementerios y campos deportivos.
- Actividades industriales (sistemas de enfriamiento, alimentación de calderas y otros).
- Recarga de acuíferos, acuicultura y alimentación de lagos recreativos.
- Descarga de inodoros, sistemas contra incendios

Para la mayoría de estos usos se han establecido requerimientos de calidad en base a estudios y experiencias realizadas en otros países.

En el análisis de la conveniencia de reusar el agua residual deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- ✚ Valoración de las necesidades de tratamiento y disposición de aguas residuales, así como de los beneficios de uso (precio del agua potable, precio del agua para riego y costo del re uso).
- ✚ Análisis del mercado para el re uso.
- ✚ Análisis de alternativas y factibilidad técnico económica.

## 1.2 ÁREA DE ESTUDIO

El área de todo el Parque Mirador Héroes de la Independencia desde su punto más alto hasta el punto más bajo es de 9,080 hectáreas

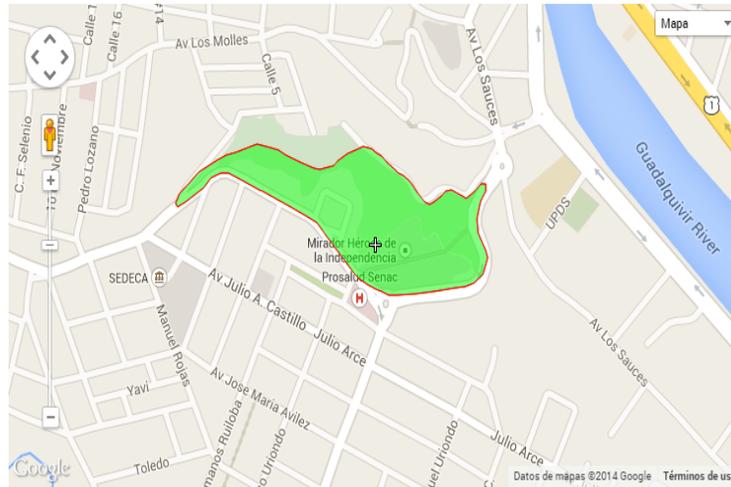
El área de estudio está comprendida por 1,87 hectáreas que serán beneficiadas para el riego

**Tabla 1. 1** Coordenadas del área de estudio

	PUNTO MAS BAJO	PUNTO MAS ALTO
Elevación	1881 m.s.n.m.	1909 m.s.n.m.
Latitud	21°32'11.03" S	21°32'27.7" S
Longitud	64°44'36.02" O	64°44'65" O
Coordenadas Cartesianas	319485.99 m E	319368.97 m E
	7617441.49 m S	7617305.09 m S
	ZONA 20 K	ZONA 20 K

*FUENTE: Topografía realizada en el área de estudio.*

**Ilustración 1.2 Vista satelital del área de Parque Mirador Héroes de la Independencia sin relieve**



*FUENTE: (GOOGLE, 2014)*

### **1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En la ciudad de Tarija, existe escasez de agua potable para consumo humano y necesidades básicas, se debe al mal uso del agua, ya que considerables volúmenes de agua potable se usan para regar jardines y todo tipo de áreas verdes, además de lavar autos, aceras, patios, usos no controlados por industrias clandestinas, etc. En este trabajo se quiere enfrentar específicamente el riego de áreas verdes con agua potable.

En gran parte de la ciudad las instituciones riegan sus jardines y áreas verdes con agua potable que les provee COSAALT, que es un agua no contaminada de fuentes naturales y de alta calidad, este caudal que se usa es considerable. Con este trabajo se quiere dar una opción a estas instituciones para que cambien este uso: en lugar de usar agua potable en riego de jardines, opten por utilizar aguas residuales domésticas tratadas con calidad apta para riego; el agua potable que se ahorraría alcanzaría para poder cubrir en parte las deficiencias en cantidad de agua que hoy en día tiene COSAALT.

Esta alternativa tendrá que ser más económica que en la situación actual, o sea, el costo de operación y mantenimiento del tratamiento y sistema de bombeo sean más económicos que el costo que le representa a esa institución por concepto de agua para riego de sus jardines y áreas verdes.

### **1.3.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA:**

Las malas prácticas en el uso del agua potable como ser: El riego de áreas verdes y jardines entre otras ocasionan la escasez de agua potable para usos básicos; racionamiento y cortes constantes del servicio provocando conflictos sociales. Las familias que no cuentan con suficiente agua contraigan enfermedades por falta de higiene y por consumo de agua de otras fuentes no potables.

La escasez de agua potable para consumo humano y para riego, es un problema creciente en la ciudad de Tarija. Ante este problema las aguas naturales sin contaminación deben ser usadas prioritariamente para consumo humano; mientras que para el riego especialmente de jardines, parques, canchas de futbol, árboles frutales, se deberá usar agua reciclada; dándole más importancia al re uso del agua residual doméstica previo tratamiento, que asegure una calidad apta para ser usada en riego de especies vegetales específicas, que no afecten a la salud humana y que aporten a un uso eficiente de los recursos hídricos de la región.

### **1.3.2 SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA**

- ¿Será viable el uso técnico de agua doméstica tratada, en el riego de áreas verdes?
- ¿Será rentable el uso de agua doméstica tratada en el riego de áreas verdes?
- ¿Existen leyes y normas bolivianas que indiquen la calidad que debe tener el agua para riego de áreas verdes?
- ¿Existen las condiciones técnicas y económicas en la zona para optar por el uso de agua residual tratada, en riego de áreas verdes?

## **1.4 OBJETIVOS DEL PROYECTO**

### **1.4.1 OBJETIVO GENERAL:**

Realizar el diseño hidráulico de una planta de tratamiento de aguas residuales domesticas con la finalidad de ser reutilizadas para el riego de áreas verdes, llegando a contribuir de esa manera con el ahorro de agua.

### **1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

1. Profundizar los conocimientos sobre la infraestructura adecuada para usar en este tipo de proyectos.
2. Coadyuvar y aportar con una alternativa de reutilización de aguas domesticas para la elaboración de futuros planes integrales a ser desarrollados por los municipios.
3. Identificar las ventajas y desventajas de usar agua reciclada en el riego de zonas denominadas áreas verdes, como estrategia para el manejo integral del recurso hídrico.
4. Contribuir con la reducción de volúmenes de agua residual que llegan a la planta de tratamiento de la ciudad de Tarija a través del re uso.

## **1.5 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

Hoy en día el agua de las fuentes naturales no contaminadas es escasa y existen mayores demandas. Se debe dar prioridad para el consumo humano y otras necesidades básicas, los usos de agua en el riego de áreas verdes y jardines con agua que provee COSAALT, ya no debe ser aceptable ya que parte de la población no cuenta con agua en cantidad y calidad. El re usar agua residual doméstica tratada, es coadyuvar a que el agua natural no contaminada de las fuentes, beneficie a mayor cantidad de personas para sus necesidades básicas.

### **1.5.1 JUSTIFICACIÓN ACADÉMICA**

Desarrollar los conocimientos adquiridos, en lo concerniente al diseño hidráulico de sistemas de riego y plantas de tratamiento de agua. Combinar el campo teórico estudiado en la universidad, con la aplicación práctica que conlleva el diseño de re uso de aguas domésticas en riego de áreas verdes en el parque mirador Moto Méndez; razones que argumentan el deseo de verificar, rechazar o aportar aspectos teóricos referidos al objetivo del perfil.

### **1.5.2 JUSTIFICACIÓN TÉCNICA**

Efectuar los diseños hidráulicos del sistema de riego del re uso de aguas, para el parque mirador Héroes de la Independencia, determinando la ubicación de los componentes del sistema y el cálculo hidráulico y de gasto correspondientes al diseño de los mismos, buscando siempre que el sistema sea económico y técnicamente aceptable.

### **1.5.3 JUSTIFICACIÓN SOCIAL**

La escasez de agua potable para consumo humano y para riego es un problema creciente en la ciudad de Tarija, ante este problema las aguas naturales sin contaminación deben ser usadas prioritariamente para consumo humano, mientras que para el riego especialmente de jardines, parques, canchas de futbol, árboles frutales, se deberá usar agua tratada, que no afecten la salud humana y que por el contrario sea un aporte al uso eficiente de los recursos hídricos de la región.

### **1.5.4 JUSTIFICACIÓN INSTITUCIONAL**

El presente proyecto “DISEÑO HIDRÁULICO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO PARA EL RE USO DEL AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA EN RIEGO DE ÁREAS VERDES EN EL PARQUE MIRADOR HÉROES DE LA

INDEPENDENCIA (SENAC)”, está orientado en la interacción social Universidad-COSSALT-residentes del barrio SENAC.

## **1.6 MARCO DE REFERENCIA**

En el desarrollo de la materia de Proyecto de Ingeniería Civil CIV-502, se pretende elaborar un proyecto de aplicación, para el efecto es necesario contar con toda la información correspondiente, que conlleve al mismo.

### **1.6.1 MARCO TEÓRICO**

#### **1.6.1.1 RE USO DE AGUAS DOMÉSTICAS**

Re uso de aguas domésticas para riego es un sistema de obras de ingeniería, que permiten mejorar el uso aprovechable de los recursos hídricos, permitiendo que el agua potable sea exclusiva para el consumo humano. El re uso del agua residual doméstica con previo tratamiento, asegure una calidad apta para ser usada en riego y no comprometa la salud humana.

#### **1.6.1.2 PRINCIPALES CONTAMINANTES**

Los principales contaminantes del agua son los siguientes:

Aguas residuales y otros residuos que demandan oxígeno (en su mayor parte materia orgánica, cuya descomposición produce la desoxigenación del agua).

#### **Agentes infecciosos.**

Nutrientes vegetales que pueden estimular el crecimiento de las plantas acuáticas, éstas interfieren con los usos a los que se destina el agua y al descomponerse, agotan el oxígeno disuelto y producen olores desagradables.

Productos químicos, incluyendo pesticidas, productos industriales, las sustancias tensioactivas contenidas en los detergentes, y los productos de la descomposición de otros compuestos orgánicos.

Petróleo, especialmente el procedente de los vertidos accidentales.

### **Minerales inorgánicos y compuestos químicos.**

Sedimentos formados por partículas del suelo y minerales arrastrados por las tormentas y escorrentías desde las tierras de cultivo, los suelos sin protección, las explotaciones mineras, las carreteras y los derribos urbanos.

Sustancias radiactivas procedentes de los residuos producidos por la minería y el refinado del uranio y el torio, las centrales nucleares y el uso industrial, médico y científico de materiales radiactivos.

El calor también puede ser considerado un contaminante cuando el vertido del agua empleada para la refrigeración de las fábricas y las centrales energéticas hace subir la temperatura del agua de la que se abastecen.

#### **1.6.1.3 TRANSPORTE DE LAS AGUAS RESIDUALES**

Las aguas residuales son transportadas desde su punto de origen hasta las instalaciones depuradoras a través de tuberías, generalmente clasificadas según el tipo de agua residual que circule por ellas. Los sistemas que transportan tanto agua de lluvia como aguas residuales domésticas se llaman “combinados”. Generalmente funcionan en las zonas viejas de las áreas urbanas. Al ir creciendo las ciudades e imponerse el tratamiento de las aguas residuales, las de origen doméstico fueron separadas de las de los desagües de lluvia por medio de una red separada de tuberías. Esto resulta más eficaz porque excluye el gran volumen de líquido que representa el agua de escorrentía. Permite mayor flexibilidad en el trabajo de la planta depuradora y evita la contaminación originada por escape o desbordamiento que se produce cuando el

conducto no es lo bastante grande para transportar el flujo combinado. Para reducir costes, algunas ciudades, por ejemplo: Chicago, han hallado otra solución al problema del desbordamiento: en lugar de construir una red separada, se han construido, sobre todo bajo tierra, grandes depósitos para almacenar el exceso de flujo, después bombean al sistema cuando deja de estar saturado

#### **1.6.1.4 AGUAS RESIDUALES**

Las aguas residuales tienen un origen doméstico, industrial, subterráneo y meteorológico

y estos tipos de aguas residuales suelen llamarse respectivamente, domésticas, industriales, de infiltración y pluviales.

Las aguas residuales domésticas son el resultado de actividades cotidianas de las personas. La cantidad y naturaleza de los vertidos industriales es muy variada, dependiendo del tipo de industria, de la gestión de su consumo de agua y del grado de tratamiento que los vertidos reciben antes de su descarga. Una acería, por ejemplo, puede descargar entre 5.700 y 151.000 litros por tonelada de acero fabricado. Si se practica el reciclado, se necesita menos agua.

Se puede definir el agua residual, como la combinación de los residuos líquidos procedentes tanto de residencias como de instituciones públicas y establecimientos industriales y comerciales a los que pueden agregarse, eventualmente, aguas subterráneas, superficiales y pluviales.

En la medida en que se vaya presentando acumulación y estancamiento del agua residual pueden generarse gases de mal olor debido a la descomposición orgánica que ésta posee; además es importante anotar que en el agua residual hay existencia de numerosos microorganismos patógenos y causantes de enfermedades que habitan en el aparato intestinal humano o que pueden estar en ciertos residuos industriales. Pero no todo es negativo, las aguas residuales contienen nutrientes que en gran parte ayudan al crecimiento de plantas acuáticas.

### **1.6.1.5 ORIGEN DE LAS AGUAS RESIDUALES**

Por su origen las aguas residuales presentan en su composición diferentes elementos que se pueden resumir como:

- **Componentes suspendidos**
  - Gruesos (inorgánicos y orgánicos)
  - Finos (inorgánicos y orgánicos)
  
- **Componentes disueltos**
  - Inorgánicos
  - Orgánicos

En general las aguas residuales se clasifican así:

***AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS (ARD):*** Son las provenientes de las actividades domésticas de la vida diaria como: lavado de ropa, baño, preparación de alimentos, limpieza, etc. Estos desechos presentan un alto contenido de materia orgánica, detergentes y grasas. Su composición varía según los hábitos de la población que los genera.

***AGUAS LLUVIAS (ALL):*** Son las originadas por el escurrimiento superficial de las lluvias que fluyen desde los techos, calles, jardines y demás superficies del terreno. Los primeros flujos de ALL son generalmente muy contaminados debido al arrastre de basura y demás materiales acumulados en la superficie. La naturaleza de esta agua varía según su procedencia: zonas urbanas, rurales, semi rurales y aún dentro de estas zonas se presentan enormes variaciones según el tipo de actividad o uso del suelo que se tenga.

***RESIDUOS LÍQUIDOS INDUSTRIALES (RLI):*** Son los provenientes de los diferentes procesos industriales. Su composición varía según el tipo de proceso industrial y aún para un mismo proceso industrial, se presentan características diferentes, en industrias diferentes. Los RLI pueden ser alcalinos o ácidos, tóxicos, coloreados, etc., su composición refleja el tipo de materias primas utilizado dentro del proceso industrial.

***AGUAS RESIDUALES AGRÍCOLAS (ARA):*** Son las que provienen de la escorrentía superficial de las zonas agrícolas. Se caracterizan por la presencia de pesticidas, sales y un alto contenido de sólidos en suspensión. La descarga de esta agua es recibida directamente por los ríos o por los alcantarillados.

#### **1.6.1.6 TIPOS DE TRATAMIENTOS.**

Aquellos métodos de tratamiento en los que predominan los fenómenos físicos se conocen como operaciones unitarias, mientras que aquellos métodos en los que la eliminación de los contaminantes se realiza con base en procesos químicos o biológicos se conocen como procesos unitarios.

Referirse a operaciones y procesos unitarios es porque se agrupan entre sí para constituir los tratamientos primario, secundario y terciario.

***TRATAMIENTOS PRELIMINARES:*** No reflejan un proceso en sí, sirven para aumentar la efectividad de los tratamientos primarios, secundarios y terciarios. Las aguas residuales que fluyen desde los alcantarillados a las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), son muy variables en su flujo y contienen gran cantidad de objetos, en muchos casos voluminosos y abrasivos, que por ningún motivo deben llegar a las diferentes unidades donde se realizan los tratamientos y deben ser removidos. Para esto son utilizados los tamices, las rejillas, los microfiltros, etc.

### Ilustración 1.3 Vista de una Planta de Tratamiento



FUENTE: (EDDY)

<http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/interesantes/tratamientoresiduales/tratamientoresiduales.html>

#### 1.6.1.7 PLANTA DE AGUAS RESIDUALES

**Tamizado:** Los tamices auto limpiantes están contruidos con mallas dispuestas en una inclinación particular que deja atravesar el agua y obliga a deslizarse a la materia sólida retenida hasta caer fuera de la malla por sí sola. La gran ventaja de este equipo es que es barato, no tiene partes móviles y el mantenimiento es mínimo, pero necesita un desnivel importante entre el punto de alimentación del agua y el de salida.

#### Ilustración 1.4 Tamiz

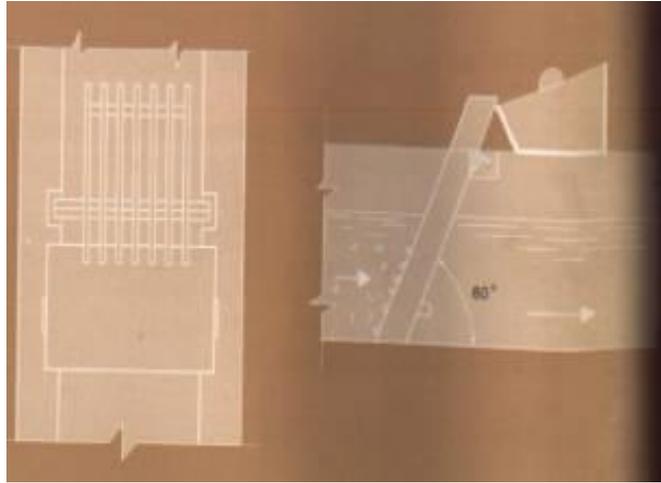


*FUENTE: (LOCANTO, s.f.) (tamizado de aguas residuales)*

**Rejas:** Se utilizan para separar objetos de tamaño más importante que el de simples partículas que son arrastrados por la corriente de agua. Se utilizan solamente en desbastes previos. El objetivo es proteger los equipos mecánicos e instalaciones posteriores que podrían ser dañados u obstruidos con perjuicio de los procesos que tuviesen lugar. Se construyen con barras metálicas de 6 o más mm de espesor, dispuestas paralelamente y espaciadas de 10 a 100 mm. Se limpian mediante rastrillos que pueden ser manejados manualmente o accionados automáticamente.

Para pequeñas alturas de la corriente de agua se emplean rejas curvas y para alturas mayores rejas longitudinales dispuestas casi verticalmente.

### Ilustración 1.5 Esquema de Rejas en una Planta de Tratamiento

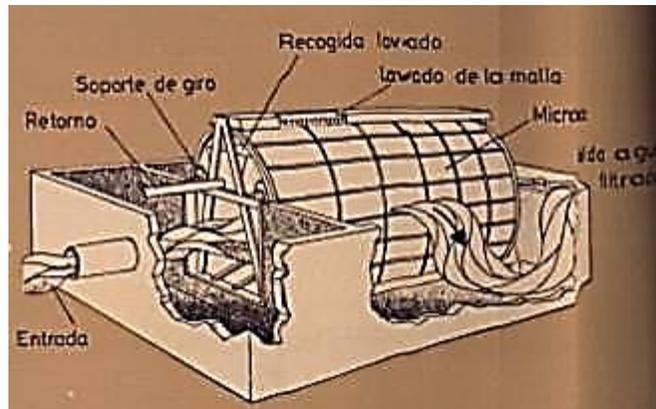


FUENTE: (EDDY)

<http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/interesantes/tratamientoresiduales/tratamientoresiduales.html>

**Microfiltración:** Los microfiltros trabajan a baja carga, con muy poco desnivel, y están basados en una pantalla giratoria de acero o material plástico a través de la cual circula el agua. Las partículas sólidas quedan retenidas en la superficie interior del microfiltro que dispone de un sistema de lavado continuo para mantener las mallas limpias. Se han utilizado eficazmente para separar algas de aguas superficiales y como tratamiento terciario en la depuración de aguas residuales. Según la aplicación se selecciona el tamaño de malla indicado. Con mallas de acero pueden tener luces del orden de 30 micras y con mallas de poliéster se consiguen buenos rendimientos con tamaños de hasta 6 micras.

### Ilustración 1.6 Esquema de un Microfiltro



FUENTE:(EDDY)

<http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulosos/interesantes/tratamientoresiduales/tratamientoresiduales.html>

**TRATAMIENTOS PRIMARIOS:** El principal objetivo es el de remover aquellos contaminantes que pueden sedimentar, como; por ejemplo: Los sólidos sedimentables y algunos suspendidos o aquellos que pueden flotar como las grasas.

El tratamiento primario presenta diferentes alternativas según la configuración general y el tipo de tratamiento que se haya adoptado. Se puede hablar de una sedimentación primaria como último tratamiento o precediendo un tratamiento biológico, de una coagulación cuando se opta por tratamientos de tipo físico-químico.

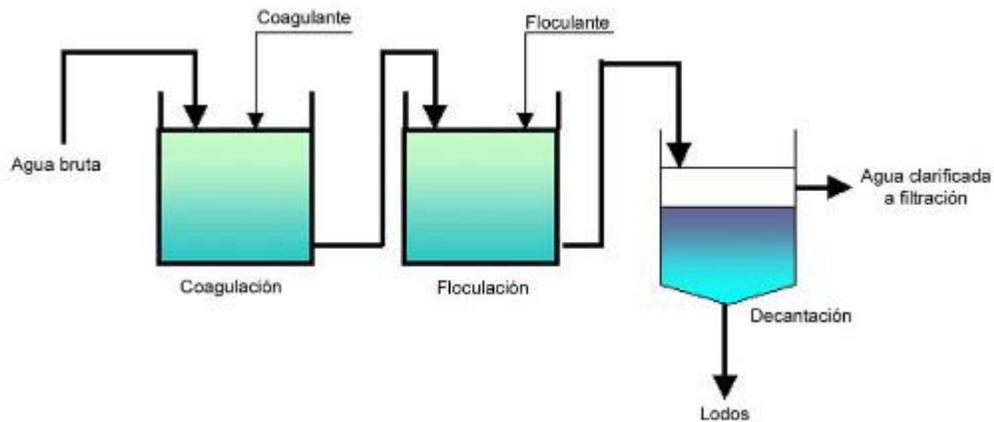
**-Sedimentación primaria:** Se realiza en tanques ya sean rectangulares o cilíndricos en donde se remueve de un 60 a 65% de los sólidos sedimentables y de 30 a 35% de los sólidos suspendidos en las aguas residuales. En la sedimentación primaria el proceso es de tipo floculento y los lodos producidos están conformados por partículas orgánicas.

Un tanque de sedimentación primaria tiene profundidades que oscilan entre 3 y 4m y tiempos de detención entre 2 y 3 horas. En estos tanques el agua residual es sometida

a condiciones de reposo para facilitar la sedimentación de los sólidos sedimentables. El porcentaje de partículas sedimentadas puede aumentarse con tiempos de detención más altos, aunque se sacrifica eficiencia y economía en el proceso; las grasas y espumas que se forman sobre la superficie del sedimentador primario son removidas por medio de rastrillos que ejecutan un barrido superficial continuo.

- ***Precipitación química – coagulación:*** La coagulación en el tratamiento de las aguas residuales es un proceso de precipitación química en donde se agregan compuestos químicos con el fin de remover los sólidos. El uso de la coagulación ha despertado interés sobre todo como tratamiento terciario y con el fin de remover fósforo, color, turbiedad y otros compuestos orgánicos.

**Ilustración 1.7 La Coagulación - Floculación en el Proceso de Tratamiento**



FUENTE: (El Agua Potable, s.f.) (<http://www.elaguapotable.com/coagulacion-floculacion.htm>)

**TRATAMIENTOS SECUNDARIOS:** El objetivo de este tratamiento es remover la demanda biológica de oxígeno (DBO) soluble que escapa a un tratamiento primario, además de remover cantidades adicionales de sólidos sedimentables.

El tratamiento secundario intenta reproducir los fenómenos naturales de estabilización de la materia orgánica, que ocurre en el cuerpo receptor. La ventaja es que en ese proceso el fenómeno se realiza con más velocidad para facilitar la descomposición de los contaminantes orgánicos en períodos cortos de tiempo. Un tratamiento secundario remueve aproximadamente 85% de la DBO y los SS, aunque no remueve cantidades significativas de nitrógeno, fósforo, metales pesados, demanda química de oxígeno (DQO) y bacterias patógenas.

Además de la materia orgánica se va a presentar gran cantidad de microorganismos como bacterias, hongos, protozoos, rotíferos, etc., que entran en estrecho contacto con la materia orgánica la cual es utilizada como su alimento. Los microorganismos convierten la materia orgánica biológicamente degradable en CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O y nuevo material celular. Además de estos dos ingredientes básicos microorganismos – materia orgánica biodegradable, se necesita un buen contacto entre ellos, la presencia de un buen suministro de oxígeno, aparte de la temperatura, PH y un adecuado tiempo de contacto.

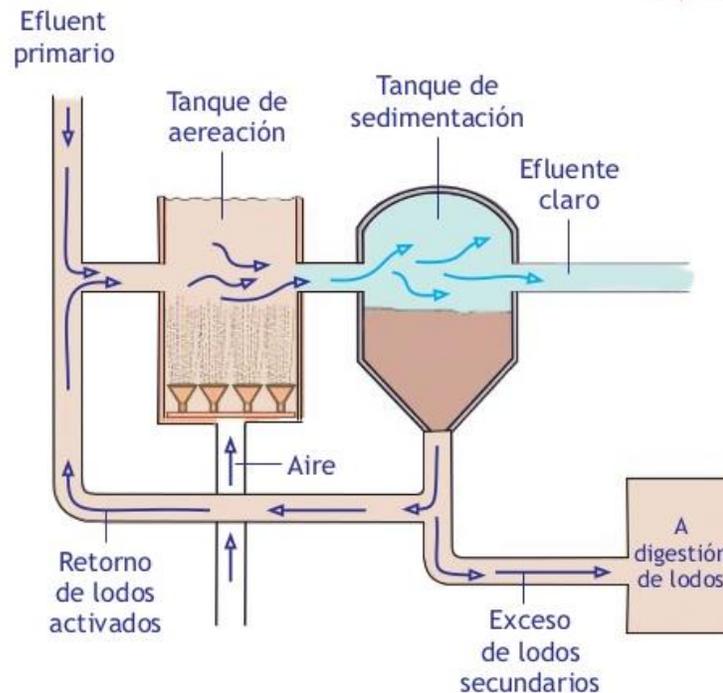
Para llevar a efecto el proceso anterior se usan varios mecanismos tales como: lodos activados, biodisco, lagunaje, filtro biológico.

***LODOS ACTIVADOS:*** Es un tratamiento de tipo biológico en el cual una mezcla de agua residual y lodos biológicos es agitada y aireada. Los lodos biológicos producidos son separados y un porcentaje de ellos devueltos al tanque de aireación en la cantidad que sea necesaria. En este sistema las bacterias utilizan el oxígeno suministrado artificialmente para desdoblar los compuestos orgánicos que a su vez son utilizados para su crecimiento.

A medida que los microorganismos van creciendo se aglutinan formando los lodos activados; éstos más el agua residual fluyen a un tanque de sedimentación secundaria en donde sedimentan los lodos. Los efluentes del sedimentador pueden ser descargados a una corriente receptora; parte de los lodos son devueltos al tanque con el fin de

mantener una alta población bacteriana para permitir una oxidación rápida de la materia orgánica.

**Ilustración 1.8 Sistema de Lodos Activados**



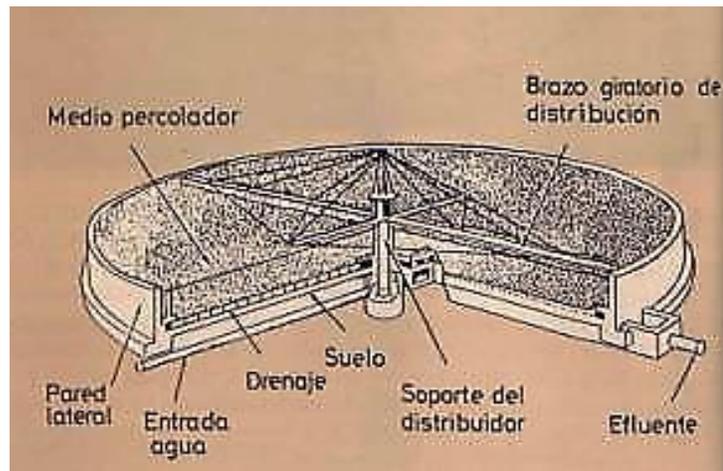
FUENTE: Dr. Hugo Luna "Tratamiento de Aguas y Desechos"

(<http://es.slideshare.net/josuapo/2011-aguas-y-desechos-8104810>)

**BIODISCO:** Es tan eficaz como los lodos activados, requiere un espacio mucho menor, es fácil de operar y tiene un consumo energético inferior. Está formado por una estructura plástica de diseño especial, dispuesto alrededor de un eje horizontal. Según la aplicación puede estar sumergido de un 40 a un 90% en el agua a tratar; sobre el material plástico se desarrolla una película de microorganismos, cuyo espesor se autorregula por el rozamiento con el agua, en la parte menos sumergida, el contacto periódico con el aire exterior es suficiente para aportar el oxígeno necesario para la actividad celular.

**LAGUNAJE:** El tratamiento se puede realizar en grandes lagunas con largos tiempos de retención (1/3 días) que les hace prácticamente insensibles a las variaciones de carga, pero que requieren terrenos muy extensos. La agitación debe ser suficiente para mantener los lodos en suspensión excepto en la zona más inmediata a la salida del efluente.

**Ilustración 1.9 Filtro Percolador**



FUENTE: (EDDY)

<http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/es/interesantes/tratamiento/residuales/tratamiento/residuales.html>

**FILTRO BIOLÓGICO:** Está formado por un reactor, en el cual se ha situado un material de relleno sobre el cual crece una película de microorganismos aeróbicos con aspecto de limos

La altura del filtro puede alcanzar hasta 12m. El agua residual, se descarga en la parte superior mediante un distribuidor rotativo cuando se trata de un tanque circular. A medida que el líquido desciende a través del relleno entra en contacto con la corriente de aire ascendente y los microorganismos. La materia orgánica se descompone lo mismo que con los lodos activados, dando más material y CO<sub>2</sub>.

**TRATAMIENTOS TERCIARIOS:** Tiene el objetivo de remover contaminantes específicos, usualmente tóxicos o compuestos no biodegradables o aún la remoción complementaria de contaminantes no suficientemente removidos en el tratamiento secundario.

Como medio de filtración se puede emplear arena, grava antracita o una combinación de ellas. El pulido de efluentes de tratamiento biológico se suele hacer con capas de granulometría creciente, duales o multimedia, filtrando en arena fina trabajando en superficie. Los filtros de arena fina son preferibles cuando hay que filtrar flóculos formados químicamente y aunque su ciclo sea más corto, pueden limpiarse con menos agua.

La adsorción con carbón activo se utiliza para eliminar la materia orgánica residual que ha pasado el tratamiento biológico.

#### **1.6.1.8 TRATAMIENTO AVANZADO DE LAS AGUAS RESIDUALES**

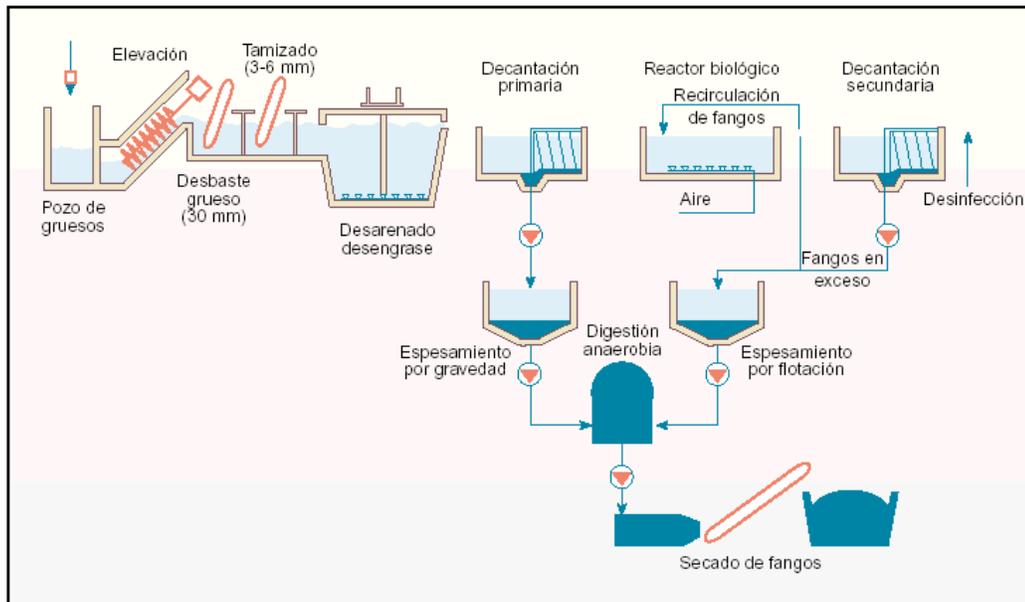
Si el agua que ha de recibir el vertido requiere un grado de tratamiento mayor que el que puede aportar el proceso secundario, o si el efluente va a reutilizarse, es necesario un tratamiento avanzado de las aguas residuales. A menudo se usa el término tratamiento terciario como sinónimo de tratamiento avanzado, pero no son exactamente lo mismo. El tratamiento terciario, o de tercera fase, suele emplearse para eliminar el fósforo, mientras que el tratamiento avanzado podría incluir pasos adicionales para mejorar la calidad del efluente eliminando los contaminantes recalcitrantes. Hay procesos que permiten eliminar más de un 99% de los sólidos en suspensión y reducir la DBO<sub>5</sub> en similar medida. Los sólidos disueltos se reducen por medio de procesos como la ósmosis inversa y la electrodiálisis. La eliminación del amoníaco, la desnitrificación y la precipitación de los fosfatos pueden reducir el contenido en nutrientes. Si se pretende la reutilización del agua residual, la desinfección por tratamiento con ozono es considerada el método más fiable, excepción hecha de la cloración extrema. Es probable que en el futuro se generalice el uso de estos y otros

métodos de tratamiento de los residuos a la vista de los esfuerzos que se están haciendo para conservar el agua mediante su reutilización.

### 1.6.1.9 FOSA SÉPTICA

Un proceso de tratamiento de las aguas residuales que suele usarse para los residuos domésticos es la fosa séptica: una fosa de cemento, bloques de ladrillo o metal en la que sedimentan los sólidos y asciende la materia flotante. El líquido aclarado en parte fluye por una salida sumergida hasta zanjas subterráneas llenas de rocas a través de las cuales puede fluir y filtrarse en la tierra, donde se oxida aeróbicamente. La materia flotante y los sólidos depositados pueden conservarse entre seis meses y varios años, durante los cuales se descomponen anaeróbicamente

**Ilustración 1.10 Esquema de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales**



*FUENTE: Alternativas para cuidar el Medio Ambiente*

<http://consultoriaempresariamaslimpias.blogspot.com/2015/06/las-aguas-residuales.html>

## 1.6.2 MARCO CONCEPTUAL

Para realizar el presente proyecto se tomará en cuenta los siguientes conceptos:

**ADUCCIÓN:** Conjunto de tuberías, canales, túneles, dispositivos y obras civiles que permiten el transporte de agua desde la obra de captación hasta la planta de tratamiento y/o tanque de almacenamiento o directamente a la red.

**AGUA POTABLE:** Agua que por su calidad física, química, radiología y microbiológica es apta para el consumo humano y cumple con las normas de calidad.

**AGUAS RESIDUALES CRUDAS:** Aguas procedentes de usos domésticos, comerciales, agropecuarios y de procesos industriales, o una combinación de ellas, sin tratamiento posterior a su uso.

**AGUAS RESIDUALES TRATADAS:** Aguas procesadas en plantas de tratamiento para satisfacer los requisitos de calidad en relación a la clase de cuerpo receptor a que serán descargadas.

**BOMBA:** Dispositivo mecánico, destinado a extraer agua de un nivel inferior a otro superior, ya sea por la fuerza física humana o por energía eléctrica.

**CALIDAD DEL AGUA:** Se expresa mediante la caracterización de los elementos y compuestos presentes, en solución o en suspensión, que desvirtúan la composición original.

**CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO:** Volumen de agua que puede ser almacenado en un tanque.

**CAPTACIÓN:** Estructura o conjunto de estructuras necesarias para obtener el agua de la fuente.

**CONSUMO EN LA RED:** Cantidad de agua del sistema de distribución utilizada en una unidad de tiempo.

**DBO<sub>5</sub>:** Demanda Bioquímica de Oxígeno (en mg/l). Es la cantidad de oxígeno necesaria para descomponer biológicamente la materia orgánica carbonácea. Se determina en laboratorio a una temperatura de 20° C y en 5 días.

**DESCARGA:** Vertido de aguas residuales crudas o tratadas en un cuerpo receptor.

**DESINFECCIÓN:** Proceso que permite la inactivación de microorganismos patógenos y no patógenos a través de la adición de sustancias desinfectantes (oxidantes), agentes físicos, como el calor.

**DOTACIÓN:** Cantidad de agua que se asigna para el consumo en el día expresado en l/h-d.

**DQO:** Demanda Química de Oxígeno (en mg/l). Cantidad de oxígeno necesario para descomponer químicamente la materia orgánica e inorgánica. Se determina en laboratorio por un proceso de digestión en un lapso de 3 horas.

**ESTACIÓN DE BOMBEO:** Conjunto de estructuras, instalaciones y equipos que permiten elevar el agua de un nivel inferior a otro superior, haciendo uso de equipos de bombeo.

**FANGOS O LODOS:** Parte sólida que se produce, decanta o sedimenta durante el tratamiento de aguas.

**FUENTE DE ABASTECIMIENTO DE AGUA:** Depósitos o cursos naturales de agua, superficiales o subterráneas.

**LIMITE PERMISIBLE:** Concentración máxima o mínima permitida, según corresponda, de un elemento, compuesto o microorganismo en el agua, para preservar la salud y el bienestar humanos y el equilibrio ecológico, en concordancia con las clases establecidas.

**PLANTA DE TRATAMIENTO:** Conjunto de obras civiles, instalaciones y equipos convenientemente dispuestos para llevar a cabo procesos y operaciones unitarias que permitan obtener aguas de calidad aptas para consumo y uso humano.

**RED DE DISTRIBUCIÓN:** Conjunto de tuberías, accesorios y dispositivos que permiten la entrega de agua a los consumidores en forma constante con presión apropiada y en cantidad suficiente para satisfacer sus necesidades.

**REUSO:** Utilización de aguas residuales tratadas que cumplan la calidad requerida por el presente trabajo.

**SISTEMA DE ALCANTARILLADO SEPARADO:** Sistema de redes en que las aguas residuales son colectadas separadamente de las aguas pluviales.

**SOLIDOS SEDIMENTABLES:** Volumen que ocupan las partículas sólidas contenidas en un volumen definido de agua, decantadas en dos horas; su valor se mide en mililitros por litro (ml/l).

**SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES:** Peso de las partículas sólidas suspendidas en un volumen de agua, retenidas en papel filtro N° 42.

**TANQUE DE ALMACENAMIENTO:** Depósito situado generalmente entre la captación y la red de distribución destinado a almacenar agua y/o mantener presiones adecuadas en la red de distribución.

**TRATAMIENTO:** Proceso físico, químico y/o biológico que modifica alguna propiedad física, química y/o biológica del agua residual cruda.

**TUBERÍA DE CONDUCCIÓN:** Tubería comprendida entre la planta de tratamiento y/o tanque de regulación la red de distribución.

### **1.6.3 MARCO ESPACIAL**

El diseño del sistema para el re uso de aguas domésticas para riego se aplicará en el parque mirador Héroes de la Independencia ubicado en el barrio SENAC, debido a que este lugar cuenta con un precario uso de riego a manguera, el desperdicio de agua potable, lleva a la necesidad de realizar el estudio del proyecto para dar una solución a la gran demanda de agua potable y a la escasez de la misma.

#### **1.6.4 MARCO TEMPORAL**

La información que se ha de recopilar en las oficinas de COSSALT será actual, puesto que se requiere el consumo diario mensual en época de lluvia y en tiempos de sequía para realizar los cálculos de dotación para el riego de toda el área verde existente en el parque, a su vez se realizará un estudio del tipo de vegetación para conocer cuánto de caudal se requiere captar para cubrir toda la demanda.

## **CAPÍTULO II**

### **REUSO DEL AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA EN RIEGO**

#### **2.1 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA**

##### **AGUAS RESIDUALES (AR):**

Las aguas residuales son las aguas usadas y los sólidos que por uno u otro medio se introducen en las cloacas y son transportadas mediante el sistema de alcantarillado.

Aguas residuales domésticas: Líquidos provenientes de las viviendas, e edificios comerciales e institucionales.

Aguas residuales municipales: Residuos líquidos transportados por el alcantarillado de una ciudad o población y tratada en una planta de tratamiento municipal. A estas dos últimas se les suele llamar “Líquidos cloacales”.

Aguas residuales industriales: Aguas residuales provenientes de las descargas de industrias de manufacturas.

(Sorraqieta, 2004, pág. 6)

##### **2.1.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS LÍQUIDOS CLOACALES**

1) Características Físicas:

- Temperatura.
- Olor: Amoníaco, sulfuros, escatol, mercaptanos.
- Color: Según su condición: fresco, viejo, séptico.

2) Características químicas:

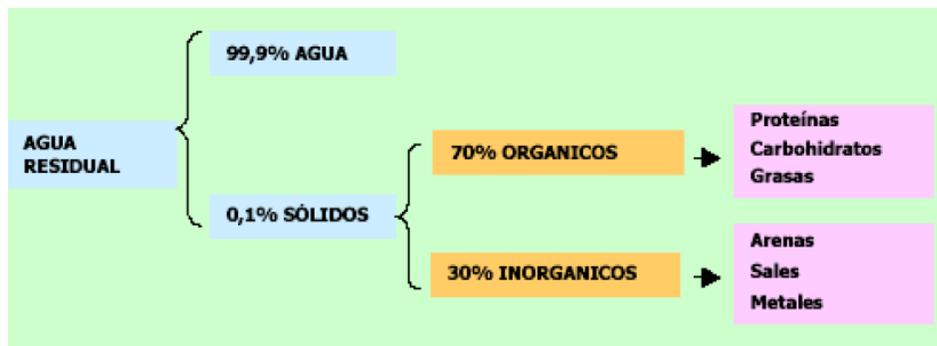
- Materia orgánica: Hidratos de carbonos, proteínas, grasas.

- Materia inorgánica: Principalmente cloruros, sulfatos y fosfatos de sodio, calcio, magnesio y potasio.
- Agentes tenso activos: Sulfatos de alquilo lineales (biodegradables)

### 3) Características microbiológicas:

- Bacterias entéricas (flora intestinal).
- Bacterias entero patógenas.
- Parásitos.
- Virus.

**Ilustración 2.1 Distribución de los sólidos contenidos en el agua residual urbana típica**



*FUENTE: Augusto Sorraquieta , "Aguas Residuales: Reuso y Tratamiento. Lagunas de estabilización: Una opción para Latinoamérica" (Sorraquieta, 2004)*

### **2.1.2 EL LIQUÍDO CLOACAL: CARACTERÍSTICAS según SU ORIGEN**

Agua de cocina: Detergentes, grasas y restos de alimentos.

Agua de lavado: Detergentes y jabones.

Agua de baño:

- Materia Fecal: 20% materia seca, 80% agua.

- Restos de alimentos no digeridos: proteínas, hidratos de carbonos, grasas.
- Secreción biliar Sales de Ca y Fe.
- Elementos celulares de pared intestinal. Bacterias (450 millones/g /g. MF).
- Orina: 1,5 l/día.
- Urea.
- Aniones: cloruros, sulfatos, fosfatos.
- Cationes: Na, Ca, Mg, K (Sorraquieta, 2004, pág. 7)

### **2.1.3 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES:**

Toda caracterización de aguas residuales, implica un programa de muestreo apropiado para asegurar representatividad de la muestra y un análisis de laboratorio de conformidad con normas estándar que aseguren precisión y exactitud en los resultados.

Hay que recordar que cada agua residual es única en sus características y que, en lo posible, los parámetros de contaminación deben evaluarse en el laboratorio para cada agua residual específica.

Se citarán ahora las características más importantes (Rojas, 1999):

### **2.1.4 CARACTERIZACIÓN BACTERIOLÓGICA DEL AGUA:**

Más que caracterizar a cada organismo patógeno por separado se prefiere usar los microorganismos indicadores los cuales no tienen necesariamente una relación directa con el número de patógenos si no que se dirige más a evaluar el grado en el que ha sido contaminado con heces humanas o de otros animales de sangre caliente (contaminación fecal)

**Coliformes:** Grupos de bacterias aerobias y anaerobias facultativas, gram (-) no esporógenas, baciliformes que fermenta la lactosa formando gas en un período de 48 hrs a 35 ° C.

**Coliformes fecales:** Subgrupo del anterior en el que estarían los microorganismos con mayor probabilidad de haberse originado en los intestinos. Ambos grupos se los determina por el método del número más probable (NMP). Otra forma de determinar coliformes sería por el método de Filtración por Membrana. Las bacterias coliformes detectadas por las dos técnicas no siempre son exactamente las mismas. En general se acepta que el método de filtración por membrana tiene como ventaja respecto del NMP, la reproducibilidad.

**Streptococos Fecales:** Puede servir para conocer la fuente probable de contaminación, la relación coliformes/ estreptococos es siempre mayor a 4,0 en aguas residuales domésticas, mientras que la relación para las aguas residuales de granja (donde se vuelcan heces de aves de corral, gatos, perros y roedores) es menor a 0,7 (Gilda).

## **2.1.5 CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL AGUA:**

### **2.1.5.1 DEMANDA BIOQUÍMICA DEL OXÍGENO (DBO)**

Cantidad de oxígeno usado en la estabilización de la materia orgánica carbonácea y nitrogenada por acción de los microorganismos en condiciones de tiempo y temperatura especificados (generalmente cinco días y 20° C). Mide indirectamente el contenido de materia orgánica biodegradable. Es un valor que se relaciona directamente con la calidad del agua.

### **2.1.5.2 DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO):**

Se usa para medir el O<sub>2</sub> equivalente a la materia orgánica oxidable químicamente mediante un agente químico oxidante fuerte, generalmente K<sub>2</sub>C<sub>r2</sub>O<sub>7</sub>, en medio ácido, a alta T ° y comúnmente con un catalizador (Aguamarket, s.f.) .

La DQO es útil como parámetro de concentración orgánica y se puede realizar en sólo tres horas. En general se espera que la DQO sea similar a la DBO, pero existen factores que hacen que no se cumpla (Ej.: muchos compuestos orgánicos oxidables por dicromato no son oxidables biológicamente).

**Oxígeno disuelto (OD):** La baja disponibilidad de OD limita la capacidad auto purificadora de los cuerpos de agua y hace necesario el tratamiento de las AR para su disposición en ríos y embalses. En Aguas naturales, para evitar efectos perjudiciales sobre la vida acuática se recomienda OD mayores de 4 mg/l.

**Detergentes:** Su presencia disminuye la tensión superficial del agua y favorece la formación de espuma. Además, inhiben la actividad biológica y disminuyen la solubilidad del O<sub>2</sub>. Estos se determinan mediante el ensayo SAAM, sustancias activas al azul de metileno, por medio de la cuantificación del cambio de color de una solución estándar de A.M (Rojas, 1999).

## **2.2 TIPOS DE DISPOSICIÓN FINAL DEL AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA**

Los sistemas de re uso urbano proporcionan agua tratada para varios propósitos dentro de un área urbana, incluyendo:

- Irrigación de parques públicos, campos de golf y otros campos deportivos, aeropuertos, jardines de escuelas, camellones y las áreas verdes alrededor de edificios públicos, centros comerciales, oficinas y desarrollos industriales.
- Limpieza de calles.
- Irrigación de las áreas verdes de residencias individuales o multifamiliares, lavado en general y otras actividades de mantenimiento.
- Para usos comerciales semejantes a lavado de vehículos, ventanas, agua de mezcla para pesticidas, herbicidas y fertilizantes líquidos.
- Irrigación de áreas verdes ornamentales y para decoración, semejantes a fuentes, albercas y cascadas.

- Para control de polvo y para producción de concreto en proyectos de construcción.
- En protección contra incendios.
- En baños de edificios comerciales e industriales.

El sistema de re uso urbano deberá considerar las instalaciones de tratamiento del agua residual para la producción de agua tratada; el sistema de distribución de agua tratada, incluyendo el almacenaje y las instalaciones de un servicio de bombeo para elevar el agua.

En el diseño de un sistema de distribución de agua tratada, las consideraciones más importantes son la seguridad del servicio y la protección a la salud pública.

Internacionalmente las actividades que más utilizan aguas residuales recuperadas son las siguientes:

- Riego agrícola y de áreas verdes de parques, cementerios, campos deportivos y jardines.
- Actividades industriales, fundamentalmente para torres de enfriamiento, alimentación de calderas y necesidades de los procesos. Los usos industriales varían para garantizar agua de calidad adecuada, por regla general, se requieren tratamientos avanzados.
- Recarga de acuíferos subterráneos.
- Alimentación de lagos recreativos, acuicultura, descarga de inodoros, sistemas contra incendios, aire acondicionado

(Felipe I. Arreguín Cortés, págs. 19-21)

### **2.3 RE USO DEL AGUA EN RIEGO**

El agua es un recurso indispensable para las actividades humanas, para el desarrollo económico y el bienestar social. En promedio se necesitan 3.000 L de agua por persona para generar los productos necesarios para la alimentación diaria. Aunque la irrigación

para fines agrícolas representa apenas 10% del agua usada, ésta es la actividad de mayor consumo de agua dulce del planeta (FIDA., 2006).

El crecimiento acelerado de la población, especialmente en países en vía de desarrollo; la contaminación de los cuerpos de agua superficial y subterránea; la distribución desigual del recurso hídrico y los graves períodos secos; han forzado a buscar nuevas fuentes de abastecimiento de agua, considerándose a las aguas residuales una fuente adicional para satisfacer la demanda del recurso.

Una de las prácticas más comunes de disposición final de las aguas residuales domésticas, ha sido la disposición directa sin tratamiento en los cuerpos de agua superficiales y en el suelo; sin embargo, la calidad de estas aguas puede generar dos tipos de problemas: de salud pública, particularmente importantes en países tropicales por la alta incidencia de enfermedades infecciosas, cuyos agentes patógenos se dispersan en el ambiente de manera eficiente a través de las excretas o las aguas residuales crudas y los problemas ambientales, por afectar la conservación o protección de los ecosistemas acuáticos y del suelo, lo que contribuye a la pérdida de valor económico del recurso y del medio ambiente y genera a su vez una disminución del bienestar para la comunidad ubicada aguas abajo de las descargas.

La utilización de aguas residuales en áreas agrícolas, proviene de los tiempos antiguos en Atenas; sin embargo, la mayor proliferación de sistemas de aplicación de aguas residuales en el suelo ocurrió durante la segunda mitad del siglo XIX, principalmente en países como Alemania, Australia, Estados Unidos, Francia, India, Inglaterra, México y Polonia. En el periodo de la posguerra, la creciente necesidad de optimización de los recursos hídricos renovó el interés por esta práctica en países como África del Sur, Alemania, Arabia Saudita, Argentina, Australia, Chile, China, Estados Unidos, India, Israel, Kuwait, México, Perú, Sudán y Túnez.

Con frecuencia, se desconoce la forma como los alimentos se han producido; sin embargo, aguas residuales, a menudo no tratadas, son utilizadas para el riego de 10% de los cultivos del mundo. Aunque ésta es una práctica en gran parte oculta y sancionada en un gran número de países, muchos agricultores, especialmente aquéllos

ubicados en las áreas urbanas, utilizan las aguas residuales porque, además de los beneficios de su uso, no tienen ningún costo y son abundantes, aún durante la época de sequías.

En países del Sudeste Asiático, de América Latina y de África, el riego con aguas residuales se hizo durante décadas de manera espontánea y no planificada por parte de los agricultores más pobres de las áreas urbanas y periurbanas (Mara D. y., 1990). En Israel, 67% del agua residual es usada para riego; en India, 25% y en Sudáfrica, 24%. En América Latina, alrededor de 400 m<sup>3</sup>/s de agua residual cruda, es entregada a fuentes superficiales y las áreas son irrigadas, la mayoría de las veces, con aguas residuales no tratadas; más de la mitad de esta cantidad se genera en México.

Colombia tiene una superficie irrigada con aguas residuales de 1.230.193 ha, con 27% de agua residual tratada y 73% sin tratar, por lo general diluida con aguas superficiales; al igual que sucede en toda América Latina, no se cuenta con información completa y confiable sobre el tema del re uso y solamente 8% del total de aguas residuales que se producen diariamente es tratado (Ciencias, 2003) .

En este artículo se hace un análisis del aprovechamiento o re uso agrícola de las aguas residuales domésticas crudas, diluidas o tratadas y de las implicaciones de los diferentes niveles de tratamiento, y se presentan algunas experiencias en Colombia y en otros países.

### **2.3.1 GENERALIDADES DEL REUSO**

El re uso de aguas residuales, está definido como su aprovechamiento en actividades diferentes a las cuales fueron originadas (Ministerio del Medio Ambiente, 2001). Los tipos y aplicaciones se clasifican de acuerdo con el sector o infraestructura que recibe el beneficio, siendo los principales: El urbano, que incluye irrigación de parques públicos, campos de atletismo, áreas residenciales y campos de golf; el industrial, que ha sido muy empleado durante los últimos años, especialmente en los sistemas de

refrigeración de las industrias y el agrícola, en la irrigación de cultivos. Este último es el principal uso.

La actividad agrícola demanda agua residual por la necesidad de un abastecimiento regular que compense la escasez del recurso, por causa de la estacionalidad o la distribución irregular de la oferta de otras fuentes de agua a lo largo del año; adicionalmente, el uso de aguas residuales presenta beneficios asociados al mejoramiento de la fertilidad de los suelos agrícolas por el aporte de materia orgánica, macronutrientes (N y P) y oligoelementos, como Na y K, permitiendo reducir y en algunos casos eliminar, la necesidad del uso de fertilizantes químicos y trayendo beneficios económicos al sector. La preservación del medio ambiente se favorece también, al evitar el vertimiento directo de las aguas residuales o al reducir los costos de su tratamiento, conservando la calidad del agua y la recarga de los acuíferos de aguas subterráneas (Moscoso, 1993)

### **2.3.2 AGUAS RESIDUALES Y REUSO.**

Las aguas residuales contienen material suspendido y componentes disueltos, tanto orgánicos como inorgánicos. Los constituyentes convencionales presentes en aguas residuales domésticas son: Sólidos suspendidos y coloidales, materia orgánica e inorgánica medida como demanda química y bioquímica de oxígeno (DQO y DBO, respectivamente), carbono orgánico total (COT), nitrógeno (amoniaco, orgánico, nitritos y nitratos), fósforo, bacterias, protozoarios y virus. La cuantificación de estos componentes es condición necesaria para definir una estrategia de tratamiento, que garantice técnica y económicamente una calidad del agua residual tratada adecuada para su uso posterior y para minimizar el riesgo potencial para la salud pública y el ambiente (Eddy, 2003).

**Tabla 2.1 Principales cultivos empleados para re uso de aguas residuales domésticas\***

	Área	Caudal
--	------	--------

Cultivos regados con agua residual	(ha)	(Ls-1)
Forestales	97	99
Frutales	46,772	40
Industriales	391,418	1,473
Forrajes	6,943	1,172
Hortalizas	48,691	1,511
Otros	806	696
Total	494,727	4991

FUENTE: Adaptada de Cepis, 2003 (Jorge Silva, 2008, pág. 352)

\*Países incluidos: Argentina, Colombia, México, Nicaragua, Perú y República Dominicana.

Debido a problemas como la predominancia de sistemas de alcantarillado combinados (aguas residuales domésticas con aguas de lluvia) y a la potencial mezcla con aguas residuales industriales, pueden encontrarse constituyentes no convencionales (orgánicos refractarios, orgánicos volátiles, tensoactivos, metales, sólidos disueltos) o emergentes (medicinas, detergentes sintéticos, antibióticos veterinarios y humanos, hormonas y esteroides, etc. Los riesgos asociados con estas últimas sustancias pueden constituirse en la mayor amenaza para la salud pública en largo plazo y ser de más difícil manejo que el riesgo causado por los agentes patógenos.

En general, el agua residual doméstica presenta valores de pH alrededor de la neutralidad, con una concentración de materia orgánica variable (250-800 mg L<sup>-1</sup> de DQO), según la forma de recolección y disposición de las aguas residuales: *in situ*, en seco, a través de redes de alcantarillado sanitario o combinado, y de aspectos de tipo climático, cultural, socioeconómico, etc. (Mendonça, 2000, pág. 370).

Las concentraciones de nutrientes varían entre 10 y 100 mg L<sup>-1</sup> de N, 5 y 25 mg L<sup>-1</sup> de P y 10 y 40 mg L<sup>-1</sup> de K. El N es el nutriente de mayor dinámica en el suelo, cambiando

rápida de una forma a otra (mineral, orgánico, diferentes formas iónicas, formas gaseosas y otras), lo que depende de diversos factores, como temperatura, humedad, aireación, ciclos de humectación y secado del suelo, tipo de material orgánico (relación C/N), pH, etc. La mayor parte del N del suelo se encuentra en la forma orgánica y apenas una pequeña cantidad, en formas disponibles de N amoniacal y nitrato.

La presencia de ciertas formas de nutrientes en las aguas residuales beneficiaría más a algunos cultivos. Para la aplicación del re uso sobre un cultivo específico, es necesario tener en cuenta aspectos como: La capacidad de asimilación de nutrientes, el consumo de agua, la presencia de iones tóxicos, la concentración relativa de Na y el contenido de sales solubles, ya que en ciertas condiciones climáticas puede salinizarse el suelo y modificarse la composición iónica, alterándole características como el desarrollo vegetativo y la productividad.

Algunos cultivos, como forrajes perennes, turbas y ciertas especies arbóreas y cultivos, como el maíz, el sorgo y la cebada, requieren una elevada capacidad de asimilación de nutrientes, alto consumo de agua, elevada tolerancia a la humedad del suelo, baja sensibilidad a los constituyentes del agua residual y mínima necesidad de control. Otros cultivos, como leguminosas, la mayoría de cultivos de campo (algodón y cereales) y algunos frutales, como cítricos, manzanos y uvas, no requieren agua en exceso, favoreciendo el re uso de las aguas residuales (Medeiros, 2005, págs. 603-612).

### **2.3.3 TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES:**

El CEPIS considera que, una forma de contribuir al mejoramiento de los indicadores de salud de los países de la Región, caracterizados por una alta incidencia de enfermedades entéricas y parasitosis, es el tratamiento de las aguas residuales, ya sea para disponerlas en cuerpos de agua o para su reutilización.

En los países en desarrollo, el objetivo prioritario de tratamiento de las aguas residuales, debe ser la remoción de parásitos, bacterias y virus patógenos pues son males endémicos

en nuestros países y no la remoción de materia orgánica y nutriente, que sí es el principal objetivo del tratamiento en los países desarrollados, en los cuales una tifoidea o un caso de parasitismo son excepcionales.

Según un estudio patrocinado por el Banco Mundial en 1997, la construcción de una planta convencional para el tratamiento secundario de aguas residuales para una población de un millón de habitantes, requiere una inversión capital de aproximadamente US\$100 millones, sin mencionar los costos sustanciales de operación y mantenimiento para su operación continua. Sin embargo, los costos económicos asociados con un brote de enfermedad, indican que la inversión inicial de capital sería positiva. En el primer año de la epidemia del cólera de 1991 en el Perú, se asociaron altos costos a las necesidades curativas y de atención preventiva de la salud para el público. Asimismo, se incurrieron pérdidas debido a la disminución de turismo y una prohibición temporal sobre las importaciones de productos alimenticios peruanos. Sólo en el primer año, los cálculos de estas pérdidas varían entre US\$180-500 millones.

El manejo efectivo de aguas residuales debe dar como resultado un efluente ya sea reciclado o reusable, o uno que pueda ser descargado de manera segura en el medio ambiente. La meta del tratamiento de aguas residuales no ha sido producir un producto estéril, sin especies microbianas, sino reducir el nivel de microorganismos dañinos a niveles más seguros de exposición, donde el agua es comúnmente reciclada para el riego o usos industriales.

Cuando un vertido de agua residual sin tratar llega a un cauce, produce varios efectos sobre él:

- Tapiza la vegetación de las riberas con residuos sólidos gruesos que lleva el agua residual, tales como plásticos, utensilios, restos de alimentos, etc.
- Acumulación de sólidos en suspensión sedimentables en fondo y orillas del cauce, como arenas y materia orgánica.
- Consumo del oxígeno disuelto que tiene el cauce por descomposición de la materia orgánica y compuestos amoniacales del agua residual.

- Formación de malos olores por agotamiento del oxígeno disuelto del cauce que no es capaz de recuperarse.
- Entrada en el cauce de grandes cantidades de microorganismos entre los que pueden haber elevado número de patógenos.
- Contaminación por compuestos químicos tóxicos o inhibidores de otros seres vivos (dependiendo de los vertidos industriales).
- Aumento de eutrofización (incremento de sustancias nutritivas en aguas dulces de lagos y embalses, que provoca un exceso de fitoplancton. Extraído del diccionario de la lengua española al portar grandes cantidades de fósforo y nitrógeno).

Como medida preventiva, en los métodos convencionales de tratamiento de aguas residuales se da énfasis a la reducción de la demanda bioquímica de oxígeno y de los sólidos en suspensión. Por otro lado, en el tratamiento para uso agropecuario se exige la eliminación de agentes patógenos, como los helmintos (Suematsu).

La importancia de la eliminación de helmintos se observa en un estudio realizado por Cifuentes y colaboradores (1992) en el que demostraron que el empleo del agua negra en riego es la causa principal de la transmisión de enfermedades diarreicas ocasionadas por Helmintos en la región del valle del Mezquital. En este se observa, que los niños entre 4 y 16 años sufren 16 veces más de Ascariasis que en zonas donde se emplea agua limpia, mientras que tienen tasas de morbilidad similares para enfermedades diarreicas originadas por otro tipo de patógenos.

En lo que respecta, a la remoción de patógenos de las aguas residuales, el número de los que sobreviven es más importante que el número de los que mueren. Cifras como 99% o 99,9% de remoción de agentes patógenos, pueden parecer impresionantes, pero representan el 1% y el 0,1% de sobrevivientes, respectivamente. Dadas las altas concentraciones de patógenos que se pueden encontrar en las aguas residuales, estas proporciones pueden ser importantes. Las aguas residuales sin tratar pueden tener más 3 de 10 bacterias patógenas, por lo que un 99% de reducción dejaría más de 10 bacterias patógenas por litro. Por tal motivo, el grado de eliminación de microorganismos de las

aguas residuales a través de un tratamiento determinado se expresa mejor en función de unidades logarítmicas. Al tratar las aguas residuales municipales para su uso en riego sin restricción, se necesita reducir la concentración bacteriana al menos en 4 unidades logarítmicas y la concentración de huevos de helmintos en 3 unidades logarítmicas.

Típicamente existen dos formas generales de tratar las aguas residuales. Una de ellas consiste en dejar que las aguas residuales se asienten en el fondo de los estanques, permitiendo que el material sólido se deposite en el fondo. Después se trata la corriente superior de residuos con sustancias químicas para reducir el número de contaminantes dañinos presentes. El segundo método, común, consiste en utilizar la población bacteriana para degradar la materia orgánica (CEPIS, Tratamiento de Aguas Residuales).

## **2.4 CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO**

### **2.4.1 NORMAS INTERNACIONALES**

#### **Evolución histórica**

Las normas establecidas en los últimos cincuenta años han sido en general muy estrictas, ya que se han basado en evaluación teórica de los posibles riesgos, que para la salud tiene la supervivencia de agentes patógenos en las aguas residuales, el suelo y los cultivos, que en pruebas epidemiológicas fehacientes del riesgo real. Estas primeras normas se basaron en un concepto de riesgo nulo, con el fin de lograr un medio antiséptico o carente de agentes patógenos. Por ejemplo, las normas del Departamento de Salud Pública del Estado de California (una de las primeras establecidas y más estrictas) permiten un total de sólo 2,2 o 23 coliformes fecales por cada 100 ml, según la aplicación del reúso (cultivos que se consumen crudos o no, parques públicos, cementerios, etc.) y el método de riego empleado (aspersores, inundación, etc.).

En 1981, el Grupo de Expertos de la OMS en Aprovechamiento de Efluentes reconoció que las normas extremadamente estrictas fijadas en California no tenían justificación en

las pruebas epidemiológicas existentes. Desde entonces, organismos internacionales de prestigio y muchas instituciones académicas de todo el mundo han hecho un gran esfuerzo por establecer una base epidemiológica más racional para las directrices sobre el riego con aguas residuales.

Las comprobaciones de esos estudios han sido analizadas por destacados expertos en salud pública, medio ambiente y epidemiólogos en las reuniones de Engelberg en 1985, Adelboden en 1987 e Hyderabad en 2002 y en numerosas reuniones y consultas nacionales e internacionales. El consenso de los expertos se centra en que el riesgo real es mucho menor de lo previsto y que no se justifica que hayan sido tan restrictivas las primeras normas sobre la calidad microbiológica de los efluentes empleados en riego, sin restricciones de legumbres y verduras que se consumen crudas, sobre todo, en lo que respecta a agentes patógenos bacterianos (Hyderabad).

En el informe de Engelberg se recomendaron nuevas directrices (Tabla 2.2) que contienen normas menos estrictas para los coliformes fecales. Sin embargo, son más estrictas para los huevos de helmintos (de las especies ascaris, trichuris y anquilostomas) que, según se reconoció, constituyen el mayor riesgo real para la salud humana, proveniente del riego con aguas residuales en las zonas donde las helmintiasis son endémicas, como es el caso de muchos países en desarrollo.

Estas nuevas directrices sobre la calidad bacteriológica fueron comparables con la calidad real del agua de río empleada para riego sin restricciones de todos los cultivos en muchos países, sin efectos nocivos conocidos. Las concentraciones de coliformes fecales típicas en varios ríos del mundo son de 1 000/100 ml ó cerca del 45 % de los ríos evaluados, pero casi el 15 % tiene concentraciones de 10 000/100 ml o más. Estas aguas se emplean en varios países de América Latina para riego, sin ninguna restricción legislativa al respecto.

En los Estados Unidos de América, el organismo para la protección ambiental y la “Academia Nacional de Ciencias”, recomendaron en 1983 que se estableciera la norma para riego con agua natural de superficie, incluida la de río, en 1 000 coliformes totales por 100 ml. La calidad bacteriológica del agua de baño establecida por el Programa de Vigilancia e Investigación de la Contaminación en el Medio Ambiente de Estados Unidos y la OMS fijan un nivel de 1 000 coliformes fecales/100 ml y la Comunidad Europea menos de 10 000 coliformes totales/100 ml y menos de 2 000 coliformes fecales/100 ml).

Por tanto, no es razonable ni lógico mantener las antiguas directrices sobre el riego con aguas residuales semejantes a las establecidas para el agua potable, cuando las autoridades sanitarias consideran aceptables para riego las aguas naturales de los ríos y las del baño, con concentraciones de coliformes fecales en muchos casos superiores a 1 000/100 ml.

Por otra parte, la extinción paulatina natural de los agentes patógenos sobre el terreno constituye otro valioso factor de seguridad para reducir los riesgos potenciales para la salud. La inactivación de agentes patógenos por medio de irradiación con rayos ultravioleta, desecación y depredadores biológicos naturales cuando se emplean efluentes para riego de cultivos puede llevar a una reducción suplementaria de 90 a 99 % de los microorganismos en pocos días (CEPIS, Aspectos sanitarios de la utilización de aguas residuales y excretas en la agricultura y acuicultura).

**Tabla 2.2 Directrices recomendadas sobre la calidad microbiológica de las aguas residuales empleadas**

Categoría	Condiciones de aprovechamiento	Grupo expuesto	Nemátodos intestinales <sup>2</sup> (media aritmética Huevos/L)	Coliformes fecales <sup>3</sup> (media geométrica /100 mL)	Tratamiento necesario para lograr la calidad microbiológica exigida
A	Riego de cultivos que se consumen crudos, campos de deportes o parques públicos.	Trabajadores, consumidores, público.	< 1	< 1 000	Serie de estanques de estabilización o tratamiento equivalente.
B	Riego de cultivos de cereales, industriales, forrajeros, praderas <sup>4</sup> y árboles. <sup>5</sup>	Trabajadores.	< 1	No se recomienda ninguna norma.	Serie de estanques de estabilización por 8 ó 10 d o eliminación equivalente de helmintos.
C	Riego localizado de cultivos de la categoría B cuando los trabajadores ni el público están expuestos.	Ninguno.	No es aplicable.	No es aplicable.	Tratamiento previo según lo exija la tecnología de riego, no menos que sedimentación primaria.

1. En casos específicos, se deberían tener en cuenta los factores epidemiológicos, socioculturales y ambientales de cada lugar y modificar las directrices de acuerdo con ello.

2. Especies *ascaris* y *trichuris* y *anquilostomas*.

3. Durante el período de riego.

4. Conviene establecer una directriz más estricta (< 200 coliformes fecales por 100 mL) para prados públicos, como los de los hoteles con los que el público puede entrar en contacto directo.

5. En el caso de los árboles frutales, el riego debe cesar dos semanas antes de cosechar la fruta y ésta no se debe recoger del suelo. No es conveniente regar por aspersión.

FUENTE: Revista CENIC Ciencias Biológicas, vol. 40 N° 1, 2009 (Eliet Veliz Lorenzo, 2008, pág. 39)

#### 2.4.2 NORMAS DE CALIDAD VIGENTES.

Basado en las recomendaciones y conclusiones de múltiples estudios y reuniones de expertos, así como en la disponibilidad real de tecnologías por los países subdesarrollados, la OMS reafirmó en 2006 las directrices que habían sido recomendadas en 1989 (Tabla 2.3).

Estos criterios de calidad microbiológica son más accesibles de cumplir, sobre todo, para los países pobres y en vías de desarrollo que son los que más necesitan fuentes de agua para sus agriculturas, con el empleo de tecnologías de tratamiento sencillas y de bajo costo.

Estados Unidos, la Agencia de Protección Ambiental recomienda una normativa a nivel federal sobre la reutilización de aguas residuales para uso agrícola, para aquellos estados que no han desarrollado su propia regulación (Tabla 2.4).

Las recomendaciones son muy estrictas, más que la OMS, y define una calidad de agua para el riego de cultivos comestibles no procesados comercialmente similar a la calidad del agua potable, lo que implica la utilización de procesos de tratamientos muy eficientes y específicos, sobre todo, para la desinfección, pero que pudieran necesitar elevadas dosis de desinfectantes que serían muy agresivos para los cultivos regados, como es el caso del cloro. Estas normas contemplan otros indicadores como pH, demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y turbidez o sólidos suspendidos (SS) definiendo los tratamientos necesarios en cada caso (CEPIS, Tratamiento de Aguas Residuales).

**Tabla 2.3 Recomendaciones de la OMS para la reutilización de aguas residuales en riego agrícola**

Indicadores microbiológicos.	Hortalizas y frutas crudas.	Cereales y cultivos para conservas.
Nemátodos intestinales (media aritmética huevos/L).	< 1	< 1
Coliformes fecales (media geométrica/100 mL).	< 1 000	
Tratamiento orientativo.	Estanques de estabilización <sup>1</sup> o equivalente.	Estanques de estabilización <sup>1</sup> o equivalente.
Grupo expuesto.	Trabajador, consumidor.	Trabajador.

1. Cuatro a seis estanques de estabilización con tiempo mínimo de retención de 20 d a temperatura > 20 °C .

*FUENTE: Revista CENIC Ciencias Biológicas, vol. 40 N° 1, 2009 (Eliet Veliz Lorenzo, 2008, pág. 40)*

**Tabla 2.4 Normativa de la Agencia de protección ambiental (EE.UU) sobre la reutilización de aguas residuales para uso agrícola**

Tipo de reutilización	Tratamiento	Calidad	Distancia de seguridad
Riegos de cultivos comestibles no procesados comercialmente.	Secundario Filtración Desinfección	pH = 6 - 9 < 10 mg/L DBO < 2 UNT 0 CF/100 mL 1 mg/L ClO <sub>2</sub>	15 m a fuentes o pozos de agua potable. A 30 m de zonas permitidas al público.
Riego de cultivos que se consumen procesados.	Secundario Desinfección	pH = 6 - 9 < 30 mg/L DBO < 30 mg/L SS 200 CF/100 mL 1 mg/L ClO <sub>2</sub>	A 90 m de fuentes o pozos de agua potable. A 30 m de zonas permitidas al público.
Riego de pastos de animales productores de leche y cultivos industriales.	Secundario Desinfección	pH = 6 - 9 < 30 mg/L DBO < 30 mg/L SS 200 CF/100 mL 1 mg/L ClO <sub>2</sub>	A 90 m de fuentes o pozos de agua potable. A 30 m de zonas permitidas al público.

DBO Demanda bioquímica de oxígeno. UNT Unidades nefelométricas de turbiedad. SS Sólidos suspendidos. CF Coliformes fecales.

FUENTE: Revista CENIC Ciencias Biológicas, vol. 40 N° 1, 2009 (Eliet Veliz Lorenzo, 2008, pág. 40)

### 2.4.3 RE USO DE AGUAS RESIDUALES PARA RIEGO DE PARQUES, JARDINES PÚBLICOS Y CAMPOS DEPORTIVOS

Las aguas a utilizar, en estos casos deben tener una calidad similar a los anteriores, con la ventaja de que las plantas que se van a regar (césped y plantas ornamentales), son más tolerantes que los cultivos agrícolas. El sistema de riego utilizado, es el de aspersión por lo que habrá que tener en cuenta los posibles problemas de obturación de las boquillas, por esta razón el agua debe tener muy baja turbiedad y sólidos en suspensión. Donde el público tiene acceso directo a prados y parques regados con aguas residuales tratadas, el peligro potencial para la salud humana puede ser mayor que el que presenta el riego de verduras consumidas crudas.

Las recomendaciones de la OMS para el *Riego de campos deportivos y de zonas verdes con acceso público* se muestran a continuación (Tabla 2.5).

La Agencia de Protección Ambiental de EE. UU también recomienda en este caso una norma mucho más estricta que la recomendada por la OMS (Tabla 2.6) (Organization.)

**Tabla 2.5 Recomendaciones de la OMS para el riego de campos deportivos y de zonas verdes con acceso público**

Indicadores microbiológicos	Contacto público	
	Directo	No directo
Nemátodos intestinales (media aritmética huevos/L).	< 1	< 1
Coliformes fecales (media geométrica/100 mL).	200	1 000
Tratamiento recomendado.	Estanques de estabilización <sup>1</sup> o equivalente.	Estanques de estabilización <sup>1</sup> o equivalente.
Grupo expuesto.	Trabajadores, público.	Trabajadores, público.

1. Cuatro a seis estanques de estabilización con tiempo mínimo de retención de 20 d a T > 20 °C .

*FUENTE: Revista CENIC Ciencias Biológicas, vol. 40 N° 1, 2009 (Eliet Veliz Lorenzo, 2008, pág. 40)*

**Tabla 2.6 Normas de la Agencia de Protección Ambiental para el riego de parques, campos deportivos, zonas verdes y otros usos**

Tipo de reutilización	Tratamiento	Calidad	Distancia de seguridad
Riegos de parques, campos de golf, cementerios, lavados de coches.	Secundario. Filtración. Desinfección.	pH = 6 - 9 < 10 mg/L DBO < 2 UNT 0 CF/100 mL 1 mg/L ClO <sub>2</sub>	A 15 m de fuentes o pozos de agua potable.
Riego de árboles y parques con acceso público prohibido o infrecuente.	Secundario. Desinfección.	pH = 6 - 9 < 30 mg/L DBO 30 mg/L SS 0 CF/100 mL 1 mg/L ClO <sub>2</sub>	A 90 m de fuentes o pozos de agua potable. A 30 m de zonas permitidas al público.

DBO Demanda bioquímica de oxígeno. UNT Unidades nefelométricas de turbiedad. SS Sólidos suspendidos. CF Coliformes fecales.

*FUENTE: Revista CENIC Ciencias Biológicas, vol. 40 N° 1, 2009 (Eliet Veliz Lorenzo, 2008, pág. 41)*

## 2.5 EXPERIENCIAS EN EL USO DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA CON FINES DE RIEGO

En 1950, aproximadamente, 150 millones de habitantes en América Latina vivían en ciudades, cifra que se incrementó a más de 360 millones a fines del siglo XX (73,6 % de su población total), debido a la intensa migración de la población rural. La creciente presión de esta población sobre los recursos de agua y suelo ha obligado a atender con prioridad solo los servicios de agua potable y alcantarillado. Por tanto, ha dejado rezagado el tratamiento de aguas residuales, así como la disposición de residuos sólidos.

La Organización Panamericana de la Salud señaló que en 1998 menos del 14 % de los 600 m<sup>3</sup>/s de aguas residuales domésticas colectadas en América Latina recibían algún tratamiento antes de ser dispuestas en ríos y mares, sólo el 6 % tenía un tratamiento aceptable. A esto se agrega que un 40 % de la población urbana de la Región, contrae enfermedades infecciosas asociadas al agua, por lo que este problema demanda urgente atención.

Consecuentemente, la actividad agrícola ubicada en la periferia de las ciudades se ha visto seriamente afectada y en muchos casos, se ha optado por el uso de aguas residuales en el riego agrícola como única alternativa. Esto se revela en la existencia en la Región de más de 500 000 ha agrícolas irrigadas directamente con aguas residuales sin tratar, se han identificado como principales países a México con alrededor de 350 000 ha, Chile con 16 000 ha, Perú con 6 600 ha y Argentina con 3 700 ha, en otras regiones del mundo sobresale China con aproximadamente 1 300 000 ha agrícolas.

En países desarrollados, el uso planificado (de agua residual tratada) es común, como en los casos de Israel, Australia, Alemania y los Estados Unidos. Israel es el país que está a la vanguardia en el uso planificado de aguas residuales, se plantea que un 70 % del agua que demandará la agricultura en 2040, va a ser obtenida mediante el tratamiento de efluentes. Se estima que una décima parte o más de toda la población mundial, consume actualmente alimentos que se producen con aguas residuales, aunque no siempre de una manera segura (Young, 2004, págs. 1-8).

## **CIUDAD DE JUÁREZ MÉXICO**

El Parque Central cuenta con planta de tratamiento, “Hermanos Escobar”, que fue construida en el año de 1997 por el Gobierno de Estado y desde septiembre de 1998, se otorgó la Concesión para la operación de la misma a la Empresa “Aguas Residuales de Ciudad Juárez”. La planta tiene una capacidad de aproximadamente 45 l/s. El tratamiento del agua abarca tratamiento primario, secundario y terciario. El uso que se le da al agua tratada es el riego de áreas verdes del propio parque, y se suministra al lago del mismo para mantener su nivel. También se emplea para riego de algunas áreas verdes municipales como; camellones y parques, la empresa concesionaria comercializa el agua tratada mediante pipas para diferentes usos. La venta de agua se realiza a empresas de la construcción para riego de terracerías, a prestadoras de servicios para lavado de coches, a industrias de lavado de textiles y también para riego de áreas verdes en parques industriales.

Un programa piloto que tiene contemplado llevar a la práctica la JMAS, es el aprovechamiento de las aguas grises producidas a nivel domiciliario, en fraccionamientos nuevos. Para esto, se les solicita a los fraccionadores en su proyecto de instalaciones hidrosanitarias, la separación de las instalaciones sanitarias de las de la regadera y lavabo, éstas dos últimas conducir las a una cisterna común, donde con previo tratamiento (filtración), poderla reutilizar en riego de áreas verdes y lavado de banquetas del mismo fraccionamiento (Actualización del Plan Maestro para el Mejoramiento de los Servicios de Agua Potable, 2000).

### **Caso de estudio**

En 2000, el “Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo de Canadá” y la “Organización Panamericana de la Salud-Organización Mundial de la Salud” (OPS-OMS) suscribieron un convenio para que el “Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria” y “Ciencias del Ambiente”, ejecutara durante 30 meses el Proyecto de Investigación Sistemas Integrados de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales en América Latina: Realidad y Potencial, cuyo objetivo general fue estudiar las experiencias de América Latina en el tratamiento de aguas residuales domésticas y su uso

sanitario en agricultura urbana para recomendar estrategias de diseño e implementación de estos sistemas integrados e identificar nuevas oportunidades.

En dieciséis países de esta región se seleccionaron dieciocho casos de estudio que representaron las cuatro situaciones del manejo de las aguas residuales: Ciudades donde se tratan y usan las aguas residuales para riego agrícola (CT-CR). Ciudades donde se tratan, pero no se usan las aguas residuales (CT-SR), ciudades donde se riega con aguas residuales sin tratamiento (ST-CR). Ciudades donde ni se trata ni se usan aguas residuales para riego agrícola (ST-SR).

Los estudios de caso mostraron que el uso de las aguas residuales está orientado principalmente, al riego de cultivos que se procesan antes de su consumo como maíz y arroz, en otros casos, hortalizas, vegetales y frutos que se consumen crudos y en menor medida a forrajes y algunos cultivos industriales como algodón y árboles maderables (Tabla 2.8). En la mayoría de los casos, el agua residual es la única fuente de abastecimiento y se aplica a los campos mediante riego por inundación. En los casos, donde no aparecen los datos, estos no fueron suministrados por los responsables del estudio.

En los países evaluados, las tecnologías de tratamiento empleadas fueron fundamentalmente las lagunas de estabilización facultativa o aerobia; en tres casos los lodos activados y en un solo caso el tratamiento por floculación química (Tabla 2.7). Más adelante en este trabajo, se presenta una discusión sobre este tema.

Este proyecto permitió concluir que en los países considerados en el; “Inventario Regional de Manejo de las Aguas Residuales Domésticas”, se está prestando mayor atención a la cobertura de alcantarillado antes que al tratamiento de aguas residuales. Los estudios mostraron que los agricultores disminuyen o desconocen los riesgos a la

salud asociados al riego con aguas residuales. En todos los casos, la actividad agrícola se desarrolla al margen de las exigencias de tratamiento y no existen mecanismos de coordinación entre las empresas de agua y otras instituciones involucradas.

Tabla 2.7 Sistema de Tratamiento y Disposición final de las aguas residuales en los casos estudiados

Localización	Alcantarillado		Tratamiento			
	País	Población servida (%)	Caudal (L/s)	Descarga	Tipo de planta	Disposición final
CT - CR	Argentina	37	2 900	Planta de tratamiento	Lagunas facultativas	Riego agrícola
	Bolivia	77	520	Planta de tratamiento	Lagunas facultativas	Riego agrícola
	Chile	97	470	Planta y mar	Lodos activados	Riego agrícola
	México	80	4 600	Canal riego y plantas	Floculación	Riego agrícola
		90	28 000	Canal drenaje y plantas	Laguna facultativa y lodos activados	Riego agrícola y forestal
		80	1 500	Planta y mar	Laguna aireadas	Riego agrícola
	Perú	84	370	Planta de tratamiento	Lagunas facultativas	Riego agrícola
	República Dominicana	90	600	Planta de tratamiento	Laguna aireadas	Riego agrícola
CT - SR	Brasil	46	150	Planta y mar	Lagunas facultativas	Laguna
	Costa Rica	79	50	Planta de tratamiento	Lodos activados	Estero
	Ecuador	85	52	Planta de tratamiento	Lagunas facultativas	Río
	Venezuela	52	3 400	Lago y planta	Lagunas estabilización	Lago
ST - CR	Chile	98	13 400	Ríos (riego agrícola)	—	—
	Perú	20	2 600	Riego agrícola	—	—
ST-SR	Colombia	78	1 380	Ríos y planta piloto	—	Río
	Guatemala	75	19	Quebrada y planta piloto	—	Quebrada
	Nicaragua	55	2	Quebrada y planta piloto	—	Quebrada
	Paraguay	—	—	Lago y río	—	—

FUENTE: Revista CENIC Ciencias Biológicas, vol. 40 N° 1, 2009 (Eliet Veliz Lorenzo, 2008, pág. 37)

Tabla 2.8 Calidad microbiológica de las aguas residuales empeladas para riego en los casos estudiados

Localización		Agua residual			Área de reúso					
País	Coliformes (NMP/100 mL)	Parásitos (huevo/L)	Área total (ha)	Cultivos (Porcentaje del área total) (%)						
CT - CR	Argentina	2,5 E + 03	< 1	2 500	Vid	30	Hortalizas	30	Frutales	30
	Bolivia	2,1 E + 06	—	80	Maíz	—	Tomate	—	Pimienta	—
	Chile	1,0 E + 02	—	1 500	Maíz	28	Zanahoria	10	Algarrobo	9
		—	< 1	26 000	Algodón	25	Alfalfa	13	Trigo	12
	México	6,1 E + 04	—	10 800	Maíz	49	Remolacha	—	Avena	—
		5,0 E + 03	< 1	757 000	Maíz	7	Alfalfa	4	King grass	3
	Perú	2,5 E + 04	—	740	Maíz	47	Alfalfa	9	Eucalipto	5
República Dominicana	5,0 E + 03	—	250	Arroz	100	—	—	—	—	
CT - SR	Brazil	5,1 E + 01	0	—	—	—	—	—	—	—
	Costa Rica	2,1 E + 05	—	—	—	—	—	—	—	—
	Ecuador	1,7 E + 05	< 1	—	—	—	—	—	—	—
	Venezuela	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ST - CR	Chile	1,0 E + 06	—	52 000	Hortalizas	27	Praderas	22	Cereales	19
	Perú	6,5 E + 07	—	535	Apio	30	Poro	23	Cebolla	22
ST - SR	Colombia	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Guatemala	1,2 E + 07	—	—	—	—	—	—	—	—
	Nicaragua	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Paraguay	—	—	—	—	—	—	—	—	—

FUENTE: Revista CENIC Ciencias Biológicas, vol. 40 N° 1, 2009 (Eliet Veliz Lorenzo, 2008, pág. 38)

## 2.6 TIPOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

### 2.6.1 PROCESOS UNITARIOS DE LA DEPURACIÓN DEL AGUA:

#### Pretratamiento:

Tienen como objetivos remover del AR aquellos constituyentes que pueden causar dificultades de operación y mantenimiento en los procesos posteriores o que, en algunos casos, son incompatibles de ser tratados conjuntamente con los demás componentes del AR. Podemos citar como ejemplos:

- Rejas finas.
- Rejas gruesas.
- Desarenador.

### **Tratamiento Primario:**

Se refiere comúnmente a la remoción parcial de sólidos suspendidos, materia orgánica u organismos patógenos mediante sedimentación u otro medio constituye un método de preparar el agua para tratamiento secundario. Podemos citar como ejemplos:

- **Sedimentación.**
- **Flotación:** Generalmente se consigue con la introducción de burbujas de gas en el líquido en las cuales se adhieren las partículas y la fuerza ascendente es suficiente para llevar dichas partículas a la superficie, de donde son retiradas.
- **Neutralización:** Tiene el objetivo de corregir el pH a un rango 6.5-8.5 a fin de poder descargar el efluente en fuente receptores naturales, proteger las condiciones o instalaciones de tratamiento o posibilitar un tratamiento biológico ulterior, (este proceso se puede realizar previo a la descarga).

### **Tratamiento Secundario:**

Se usa principalmente para remoción del DBO soluble y sólidos suspendidos y organismos patógenos.

Se puede dividir en dos grandes grupos: El de naturaleza biológica, que se utiliza cuando las partículas a eliminar son orgánicas y el de naturaleza química, que se utiliza cuando éstas son fundamentalmente inorgánicas o cuando las orgánicas se presentan en baja concentración.

- **Filtro percolador:** Es esencialmente una caja que cierra un material de contacto, generalmente piedra granítica, que al recibir el AR se va lubricando

con una capa biológica responsable de las transformaciones bioquímicas que reduce la materia orgánica biodegradable (DBO).

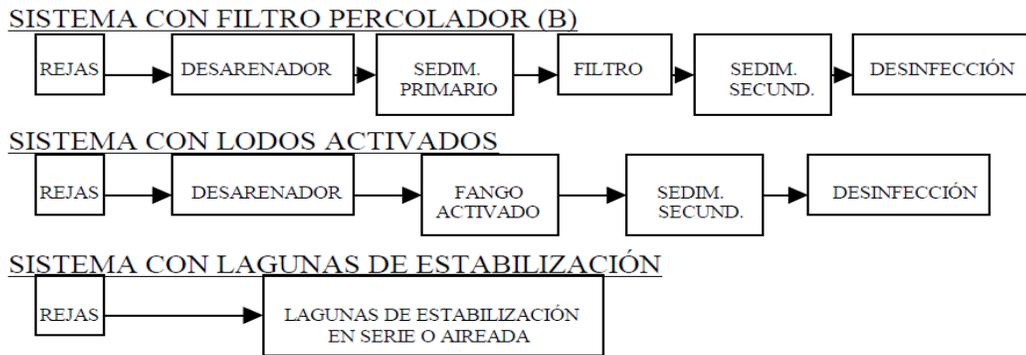
- **Lodos activados:**
- **Lagunas de estabilización:**
  - Aerobias.
  - Anaerobias.
  - Facultativas.
  - Aireadas.

Procesos fisicoquímicos: Floculación-coagulación. Estos se llevan a cabo mediante el uso de reactivos químicos (coagulantes), que consiguen la floculación y coagulación de las partículas coloidales, lo que posibilita una fácil decantación de las mismas

### **Tratamiento Terciario o avanzado:**

Supone la necesidad de remoción de nutrientes para prevenir eutrofización de las fuentes receptoras o de mejorar la calidad de un efluente secundario para adecuar al agua para su reuso. Consigue en general, una acción sobre las partículas disueltas se utiliza cuando se requieren elevados grados de calidad en el efluente (Sorraqieta, 2004, págs. 13-14).

**Ilustración 2.2 Ejemplos combinación de procesos unitarios de depuración:**



FUENTE: "Aguas Residuales: Re uso y Tratamiento. Lagunas de estabilización: una opción para Latinoamérica" (Sorraqieta, 2004).

## 2.6.2 TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO.

Los ingenieros disponen de un arsenal completo de opciones tecnológicas para atacar el problema de las aguas residuales. Las tecnologías pueden involucrar “**tratamientos físicos, químicos o biológicos**” del efluente. A continuación, se detallan los fundamentos de cada tecnología.

### 2.6.2.1 TRATAMIENTOS FÍSICOS

Los efluentes industriales que contienen elementos insolubles en suspensión son sometidos a tratamientos físicos para separarlos, evitando de esa forma que contaminen o dificulten posteriores etapas del tratamiento.

Las sustancias más comunes que se suelen encontrar en el efluente son:

**Materias grasas flotantes:** Grasas, aceites, hidrocarburos alifáticos, alquitranes, etc.

**Sólidos en suspensión:** Arenas, óxidos, pigmentos, fibras, etc.

**Los tratamientos físicos más comunes son:**

**Desbaste:** Se retienen los sólidos grandes mediante rejas adecuadas. La separación entre barrotes de la reja varía según el uso, típicamente desde 100 mm a 3 mm entre barrote y barrote. Pueden poseer sistemas de limpieza automática o manual.

**Dilaceración:** Tiene por objeto desintegrar o triturar los sólidos arrastrados. Los equipos clásicos son cilindros giratorios verticales con ranuras horizontales, en las cuales entran peines cortantes fijos. El agua entra al tambor y los sólidos son triturados entre las ranuras y los peines.

**Desarenado:** Consiste en separar las arenas y otros materiales minerales. Se efectúa en instalaciones que rascan la arena del fondo empujándola a fosas laterales, o mediante equipos continuos a presión.

**Desaceitado:** Se utilizan equipos que, mediante rasquetas en cintas transportadoras, hacen un barrido de fondo y de superficie, que permite a las gotas de aceite flotar y ser separadas.

**Flotación:** Se mezcla el agua residual con agua a presión. Al salir ambas por un tubo se forman burbujas que arrastran a la superficie partículas de aceite o fibras que allí se separan fácilmente.

**Decantación de lodos:** Se usa un equipo en el que el agua se introduce en una campana por vacío, luego se abre una válvula y el agua sale rápidamente por orificios en tubos en el fondo. Por la diferencia de densidad, el agua sube y los lodos se concentran en el fondo y son retirados mediante sifones. El agua clarificada queda en la superficie.

**Filtración:** Es muy poco usual en el tratamiento de aguas residuales, sólo se efectúa en caso que normas muy estrictas la requieran. Se usan tanques con grava, arena u otros medios filtrantes.

**Desgasificación:** Consiste en separar gases o materias volátiles disueltas en el agua. Se efectúa mediante flujo contracorriente con otro gas (que puede ser vapor de agua), con equipos de gran superficie de contacto, mediante pulverización y a veces con uso de rellenos.

### 2.6.2.2 TRATAMIENTOS QUÍMICOS

Cuando los contaminantes están disueltos, se recurre a tratamientos químicos para precipitarlos, neutralizarlos, oxidarlos o reducirlos, según corresponda. A continuación, se enumeran los principales tratamientos y cuándo se aplican:

**Precipitación:** Se aplica a metales, tóxicos - Fe, Cu, Zn, Ni, Be, Ti, Al, Pb, Hg, Cr. Estos metales precipitan en cierta zona de pH. También se precipitan sulfitos, fosfatos, sulfatos, y fluoruros por adición de  $\text{Ca}^{++}$ . Precipitan como sales o complejos de hierro los sulfuros, fosfatos, cianuros, y sulfocianuros.

**Oxidación-reducción:** La necesitan los cianuros, el cromo hexavalente, los sulfuros, el cloro, y los nitritos. Los reactivos más usados para oxidación son hipoclorito sódico, cloro gaseoso, y  $\text{H}_2\text{SO}_5$  (Acido de Caro o peroxisulfurico). Para reducción, los reactivos más usados son bisulfito sódico y sulfato ferroso.

**Neutralización:** Se utilizan los ácidos clorhídrico, nítrico, sulfúrico, fluorhídrico, y diversas bases. A veces, en la industria de procesos se neutraliza un efluente ácido con un efluente básico, con posterior ajuste final de pH. Esto permite economizar reactivos.

**Intercambio iónico y ósmosis inversa:** Se utilizan sales de ácidos y bases fuertes y compuestos orgánicos ionizados (intercambio iónico), o presión sobre membranas, en el caso del ósmosis inversa.

Siempre que es posible, se recuperan sustancias para su recirculación. Esto disminuye la contaminación y reduce las compras de reactivos o materias primas. Esta recuperación no siempre es posible, ya que los procesos son a veces demasiado costosos, y por lo tanto poco rentables. En esos casos, los efluentes tratados se desechan.

Los procesos pueden realizarse en reactores decantadores muy diferentes, tales como:

- Flotadores
- Reactores especiales con eyectores, hélices, rascadores de precipitado, turbinas, etc.
- Clarificadores de fango

Los tratamientos efectuados en estos equipos son fisicoquímicos, ya que se producen tanto reacciones químicas como separaciones físicas.

### **2.6.2.3 TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS**

Estos tratamientos se basan en el uso de microbios que descomponen y asimilan las sustancias presentes en el efluente. Los dos tratamientos más importantes son lodos activados a sistemas de película fija.

**Lodos activados:** Estos tratamientos se efectúan en grandes estanques con una suspensión de microbios que forman un barro o lodo activado. Se agrega el agua contaminada y los microorganismos van descomponiendo los contaminantes en sustancias simples, o asimilando otras sustancias en su interior. Luego se efectúa una decantación para separar los lodos, se obtiene agua tratada y parte de los lodos se envían de nuevo al estanque. Los lodos a reusar son estabilizados previo contacto con el agua residual.

Para que el sistema funcione, debe contar con agitación y aireación adecuada. También se suelen agregar nutrientes para promover la actividad de los lodos.

El sistema tiene muchas variantes, que tienen distintos sistemas de aireación, concentración de lodos, y caudal de ingreso de aguas residuales. Los más avanzados utilizan oxígeno puro en un sistema hermético y con una campana se extraen los gases producidos.

**Sistemas de película fija:** En este sistema, las partículas activas forman una película que está adherida en paredes o en rellenos de distinto tipo. Al pasar el agua residual por estas paredes o rellenos, entra en contacto con las películas microbianas y se va depurando.

Los tratamientos de tipo biológico son adecuados para aguas residuales con alto contenido de materias orgánicas, pero no están limitados a ellas. Se conocen bacterias capaces de asimilar **metales pesados y fosfatos**. De hecho, casi cualquier residuo

puede ser descompuesto mediante algas o bacterias adecuadas, ya sean naturales u obtenidas artificialmente por ingeniería genética.

### **Otras Tecnologías**

Además de los tratamientos descritos en este artículo, cabe mencionar que siempre se están desarrollando nuevas técnicas y optimizando las existentes. Esto incluye operaciones como ozonización, tratamiento con rayos ultravioletas, intercambio iónico, y otras (Scodelaro., 2012).

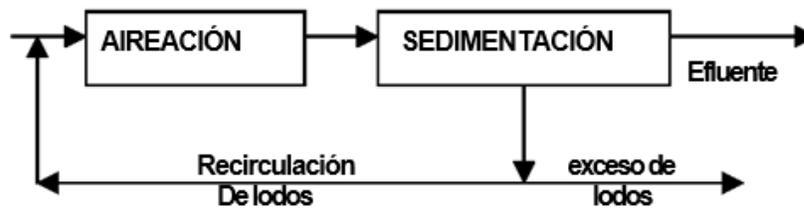
#### **2.6.2.4 LODOS O FANGOS ACTIVADOS:**

Al poder comparar mínimamente las lagunas de estabilización con un tratamiento bastante difundido como los lodos activados, daremos una pequeña reseña de dicho tratamiento.

Este es un procedimiento de características aeróbicas en donde el afluente expuesto en contacto en una unidad o tanque llamado reactor con el lodo activado (de alta concentración de protozoarios y bacterias) que reducen en forma muy rápida la DBO.

Este fango o lodo, es realimentado desde un sedimentador secundario que sigue al reactor de aireación (el suministro de  $O_2$  es estrictamente controlado y se logra por medio de dispositivos mecánicos).

**Ilustración 2.3 Esquema del fango activado**



FUENTE: "Aguas Residuales: Re uso y Tratamiento. Lagunas de estabilización: una opción para Latinoamérica" (Sorraqieta, 2004, pág. 25).

En comparación con las lagunas de estabilización, este proceso cuenta con ciertas ventajas y desventajas como ser:

- Menor tiempo de retención con lo que lleva a una menor retención de patógenos.
- Mayor capacidad de remoción de DBO en menor tiempo.
- El requerimiento de mayor cantidad de controles (equipo de aireación, control del Reactor, control de la flora protozoal, etc).
- La remoción de protozoos de las AR en este tratamiento es sustancialmente menor cuando se realiza un análisis parasitológico del efluente para detectar huevecillos de helmintos y quistes de protozoarios como Entamoeba histolytica y Lamblia intestinalis, Entamoeba coli y Endolimax nana. (Estos dos últimos protozoarios son únicamente comensales del intestino humano, pero son importantes indicadores de contaminación fecal)

#### **2.6.2.4.1 SUBPRODUCTO DEL TRATAMIENTO BIOLÓGICO:**

##### **LOS LODOS. DESTINO USOS, VENTAJAS Y PRECAUCIONES**

El lodo, es un producto derivado del tratamiento de aguas residuales y del cual no puede deshacerse tan fácilmente. Los rellenos sanitarios, las desembocaduras a corta distancia de la costa y lagunas han servido de depósitos para deshacerse del lodo. El lodo puede ser tratado y utilizado para una variedad de propósitos. La digestión del lodo de

alcantarillado puede producir gas metano, el cual es útil para la producción de calor y energía. El lodo también puede ser horneado para fabricar ladrillos para construcción.

El lodo, también ha sido utilizado en los cultivos agrícolas y en terrenos forestales, añadiendo sustancias nutritivas a los suelos deficientes. Cuando el lodo ha sido tratado y reúne los estándares para ser aplicado al terreno, es cuando se le conoce como "biosólidos". Ya que las aguas residuales tratadas y el lodo son derivados de los alimentos que comemos, contienen nutrientes importantes tales como nitrógeno, fósforo y potasio, así como nutrientes menores como cobre, manganeso y zinc. Estos nutrientes son esenciales para el crecimiento de las plantas. Los biosólidos también mejoran la estructura del suelo incorporando materia orgánica, aumentado la capacidad de los suelos para absorber y mantener la humedad, y reducir la erosión del suelo.

La presencia de contaminantes dañinos, incluyendo patógenos y metales pesados, es algo de qué preocuparse al deshacerse del lodo y deben tomarse los pasos apropiados para minimizar su presencia.

Las excretas y lodos de plantas de tratamiento no requieren de ningún tratamiento cuando se aplican al terreno mediante inyección subterránea o cuando se depositan en zanjas antes del período de siembra. Otros métodos de aplicación requieren un almacenamiento previo. Para cumplir con la directriz de calidad helmíntica ( $< 1$  huevo viable de nematodo intestinal por 100 g) las excretas sin tratar deben almacenarse durante un período mínimo de un año a la temperatura ambiente. Este tiempo mínimo de almacenamiento puede reducirse mediante tratamiento a temperaturas superiores. Con lo que respecta a los patógenos que se encuentran en los lodos uno de los métodos de eliminación que se usa mucho en los pueblos, consiste en aplicar cal viva en bajas dosis que desprende amoníaco, el cual es desinfectante.

El siguiente cuadro intenta mostrar el tiempo máximo promedio de supervivencia para diferentes microorganismos (incluyendo patógenos) en lodos; lo que es útil para tener

en cuenta a la hora de evaluar su calidad microbiológica y que a su vez se lo puede relacionar con la capacidad eliminadora de patógenos por parte de las lagunas de estabilización, no olvidemos que uno de los mecanismos de eliminación es la simple estadía por un tiempo prolongado de dichos microorganismos en un ambiente adverso y competitivo.

**Tabla 2.9 Periodo de supervivencia para los diferentes microorganismos en Lodos**

<b>Periodo de supervivencia de patógenos en lodos fecales(húmedos a temperatura ambiente)<sup>12</sup></b>		
<i>Organismos</i>	<i>Zonas templadas: 10 a 15 °C (días)</i>	<i>Zonas tropicales: 20 a 30 °C (días)</i>
<i>Virus</i>	<100	<20
<i>Bacterias</i>		
Salmonella	<100	<30
Vibrio	<30	<5
Coliformes fecales	<150	<50
<i>Protozoarios</i>		
Quistes amibicos	<30	<15
<i>Helmintos</i>		
Huevos de Ascaris	2-3 años	10-12 meses
Huevos de Anquilostoma	12 meses	6 meses
Huevos de Equistosoma		1 mes

1. Los periodos de supervivencia son mucho más cortos si los lodos son expuestos al sol para secar.

*FUENTE: Augusto Sorraquieta, "Aguas Residuales: Reuso y Tratamiento. Lagunas de estabilización: una opción para Latinoamérica" (Sorraquieta, 2004, pág. 27).*

### **2.6.2.5 LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN:**

Son depósitos o estanques conformados en el suelo en los cuales se vierte el AR a los Efectos de producir en ellos su tratamiento depurador en base a una determinada permanencia.

Las lagunas de estabilización son una alternativa de bajo costo para el tratamiento de corrientes de residuos, pero requieren vastas extensiones de terreno por lo que son el método más económico para tratar aguas residuales, en donde los costos de terreno sean relativamente bajos.

Principales procesos en una laguna de estabilización:

- 1) Sedimentación primaria
- 2) Biodegradación de compuestos orgánicos (aeróbica o anaeróbicamente)
- 3) Efectos diversos debido al tipo de reservorio (forma, capacidad de dilución y amortiguamiento de cargas pico, tanto orgánico como hidráulico).

#### **2.6.2.5.1 CLASIFICACIÓN BIOLÓGICA DE LAS LAGUNAS**

**LAGUNAS AERÓBICAS:** Es un proceso estrictamente aerobio, lo cual significa que en todo el volumen de agua existe oxígeno disuelto, el cual es suministrado, principalmente, por una capa superficial de algas por medio de su efecto fotosintético. En un estado de equilibrio óptimo existe una cantidad constante de algas y bacterias.

**LAGUNAS ANAERÓBICAS:** Contrariamente al sistema anterior, aquí no existe oxígeno disuelto, siendo entonces las bacterias anaeróbicas las responsables de la reducción de la materia orgánica. Constituye un proceso más lento que el de las aeróbicas.

**LAGUNAS FACULTATIVAS:** Es una combinación de los dos anteriores, es decir, anaerobias en la parte inferior y aerobia en la superior. Entre estas dos partes existen bacterias facultativas que reducen la materia orgánica con o sin oxígeno y actúan como barrera. Tienen una mayor profundidad que las aerobias.

**LAGUNAS AIREADAS:** En éstas, se produce el mismo proceso que en las lagunas aeróbicas, con diferencia que la incorporación de aire se realiza no por las algas sino artificialmente, con agitadores mecánicos de superficie. Permite una considerable reducción de la superficie como así también una mayor profundidad del estanque.

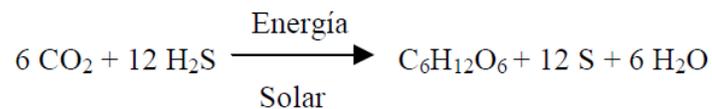
#### **IMPORTANCIA DE LA FOTOSÍNTESIS:**

Los estudios realizados sobre lagunas de estabilización han considerado como factores de influencia importantes sobre el proceso, entre otros: Fotosíntesis, pH, Profundidad, Nutrientes, Sedimentación de lodos, Vientos, Sulfuros, OD, Radiación solar, T °, Tiempo de retención, Infiltración, evaporación, Geometría de la laguna, DBO y sólidos Suspendidos.

Fotosíntesis:

La materia orgánica del agua residual es oxidada por las bacterias heterotróficas, utilizando el O<sub>2</sub> producido por las algas. Las algas, utilizando energía solar, sintetizan materia orgánica y producen O<sub>2</sub> con el CO<sub>2</sub> y el amoníaco producido por las bacterias. La oxidación fotosintética permite cargas de DBO de hasta 25 g DBO/m d; pero en ausencia de oxigenación fotosintética, la oxigenación atmosférica sólo permite cargas de 5 g DBO/m d, para condiciones aerobias.

En lagunas anaerobias, con penetración de luz solar, las bacterias rojas del azufre son capaces de efectuar fotosíntesis usando H<sub>2</sub>S en vez de H<sub>2</sub>O como donante de hidrógeno de acuerdo a:



Si la población de bacterias del azufre es muy numerosa, el agua puede tomar color rojo. En las lagunas fotosintéticas, las algas verdes producen, generalmente, un color verde intenso y el conteo de algas puede ser tan alto como 108 células/ml. En lagunas donde la carga orgánica y el tiempo de retención permiten el predominio de crustáceos y/o rotíferos, consumidores del plancton, las algas pueden desaparecer y la oxigenación fotosintética algal deja de ser importante.

La actividad fotosintética demanda un consumo grande de CO<sub>2</sub> por las algas, lo cual hace que se obtengan períodos de pH altos en las lagunas facultativas o aerobias. El desarrollo de un pH demasiado alto hace que la actividad bacteriana disminuya, que se reduzca la producción de CO<sub>2</sub> y que se limite el proceso simbiótico (Sorraquieta, 2004, págs. 17-18)

## **2.7 CONSIDERACIONES AMBIENTALES Y NORMATIVA BOLIVIANA**

Los contaminantes de las aguas servidas municipales, o aguas servidas domésticas, son los sólidos suspendidos y disueltos que consisten en: Materias orgánicas e inorgánicas, nutrientes, aceites y grasas, sustancias tóxicas, y microorganismos patógenos. Los desechos humanos sin un tratamiento apropiado, eliminados en su punto de origen o recolectados y transportados, presentan un peligro de infección parasitaria (mediante el contacto directo con la materia fecal), hepatitis y varias enfermedades gastrointestinales, incluyendo el cólera y tifoidea (mediante la contaminación de la fuente de agua y la comida). Cabe mencionar que el agua de lluvia urbana puede contener los mismos contaminantes, a veces en concentraciones sorprendentemente altas.

Cuando las aguas servidas son recolectadas, pero no tratadas correctamente antes de su eliminación o reutilización, en las proximidades del punto de descarga existen los mismos peligros para la salud pública. Si dicha descarga es en aguas receptoras, se presentarán peligrosos efectos adicionales (p.ej. el hábitat para la vida acuática y marina es afectado por la acumulación de los sólidos; el oxígeno es disminuido por la descomposición de la materia orgánica; y los organismos acuáticos y marinos pueden ser perjudicados aún más por las sustancias tóxicas, que pueden extenderse hasta los organismos superiores por la bio-acumulación en las cadenas alimenticias). Si la descarga entra en aguas confinadas, como un lago o una bahía, su contenido de nutrientes puede ocasionar la eutrofización, con molesta vegetación que puede afectar a las pesquerías y áreas recreativas. Los desechos sólidos generados en el tratamiento de las aguas servidas (grava, cerniduras, y fangos primarios y secundarios) pueden contaminar el suelo y las aguas si no son manejados correctamente.

Los proyectos de aguas servidas son ejecutados a fin de evitar o aliviar los efectos de los contaminantes descritos anteriormente en cuanto al ambiente humano y natural. Cuando son ejecutados correctamente, su impacto total sobre el ambiente es positivo.

Los impactos directos incluyen la disminución de molestias y peligros para la salud pública en el área de servicio, mejoramientos en la calidad de las aguas receptoras, y aumentos en los usos beneficiosos de las aguas receptoras. Adicionalmente, la instalación de un sistema de recolección y tratamiento de las aguas servidas posibilita un control más efectivo de las aguas servidas industriales mediante su tratamiento previo y conexión con el alcantarillado público, y ofrece el potencial para la reutilización beneficiosa del efluente tratado y de los fangos.

Los impactos indirectos del tratamiento de las aguas residuales incluyen la provisión de sitios de servicio para el desarrollo, mayor productividad y rentas de las pesquerías, mayores actividades y rentas turísticas y recreativas, mayor productividad agrícola y forestal o menores requerimientos para los fertilizantes químicos, en caso de ser reutilizado el efluente y los fangos, y menores demandas sobre otras fuentes de agua como resultado de la reutilización del efluente.

Varios potenciales impactos positivos se prestan para la medición, por lo que pueden ser incorporados cuantitativamente en el análisis de los costos y beneficios de varias alternativas al planificar proyectos para las aguas servidas. Los beneficios para la salud humana pueden ser medidos, por ejemplo: Mediante el cálculo de los costos evitados, en forma de los gastos médicos y días de trabajo perdidos que resultarían de un saneamiento defectuoso. Los menores costos del tratamiento de agua potable e industrial y mayores rentas de la pesca, el turismo y la recreación, pueden servir como mediciones parciales de los beneficios obtenidos del mejoramiento de la calidad de las aguas receptoras. En una región donde es grande la demanda de viviendas, los beneficios provenientes de proporcionar lotes con servicios pueden ser reflejados en parte por la diferencia en costos entre la instalación de la infraestructura por adelantado o la adecuación posterior de comunidades no planificadas.

A menos que sean correctamente planificados, ubicados, diseñados, construidos, operados y mantenidos, es probable que los proyectos de aguas servidas tengan un

impacto total negativo y no produzcan todos los beneficios para los cuales se hizo la inversión, afectando además en forma negativa a otros aspectos del medio ambiente.

### **Problemas socioculturales**

Las instalaciones de tratamiento requieren tierra; su ubicación puede resultar en la reubicación involuntaria. Es más, las obras de tratamiento y eliminación pueden crear molestias en las cercanías inmediatas, al menos ocasionalmente. A menudo, las tierras y los barrios elegidos, corresponden a los "grupos vulnerables" que son los menos capacitados para afrontar los costos de la reubicación y cuyo ambiente vital ya está alterado. Se debe tener cuidado de ubicar las instalaciones de tratamiento y eliminación donde los olores o ruidos no molestarán a los residentes u otros usuarios del área, manejar la reubicación con sensibilidad, e incluir en el plan de atenuación del proyecto, provisiones para mitigar o compensar los impactos adversos sobre el medio ambiente humano.

## **2.7.1 LEY 1333 REGLAMENTO EN MATERIA DE CONTAMINACION**

### **HÍDRICA**

#### **CAPÍTULO III**

#### **DE LA CLASIFICACIÓN DE CUERPOS DE AGUAS**

ARTICULO 4° La clasificación de los cuerpos de agua, según las clases señaladas en el Cuadro N° 1 - Anexo A del presente reglamento, basado en su aptitud de uso y de acuerdo con las políticas ambientales del país en el marco del desarrollo sostenible, será determinado por el MDSMA. Para ello, las instancias ambientales dependientes del prefecto deberán proponer una clasificación, adjuntando la documentación suficiente para comprobar la pertinencia de dicha clasificación. Esta documentación contendrá como mínimo: Análisis de aguas del curso receptor a ser clasificado, que incluya al menos los parámetros básicos, fotografías, que documenten el uso actual del cuerpo receptor, investigación de las condiciones de contaminación natural y actual por

aguas residuales crudas o tratadas, condiciones biológicas, estudio de las fuentes contaminantes actuales y la probable evolución en el futuro en cuanto a la cantidad y calidad de las descargas.

Esta clasificación general de cuerpos de agua; en relación con su aptitud de uso, obedece a los siguientes lineamientos:

CLASE “A” Aguas naturales de máxima calidad, que las habilita como agua potable para consumo humano sin ningún tratamiento previo, o con simple desinfección bacteriológica en los casos necesarios verificados por laboratorio.

CLASE “B” Aguas de utilidad general, que para consumo humano requieren tratamiento físico y desinfección bacteriológica.

CLASE “C” Aguas de utilidad general, que para ser habilitadas para consumo humano requieren tratamiento físico-químico completo y desinfección bacteriológica.

CLASE “D” Aguas de calidad mínima, que, para consumo humano, en los casos extremos de necesidad pública, requieren un proceso inicial de pre sedimentación, pues pueden tener una elevada turbiedad por elevado contenido de sólidos en suspensión, luego tratamiento físico-químico completo y desinfección bacteriológica especial contra huevos y parásitos intestinales.

En caso de que la clasificación de un cuerpo de agua afecte la viabilidad económica de un establecimiento, el Representante Legal de éste podrá apelar dicha clasificación ante la autoridad ambiental competente, previa presentación del respectivo análisis costo - beneficio.

ARTICULO 5° Los límites máximos de parámetros permitidos en cuerpos de agua que se pueda utilizar como cuerpos receptores, son los indicados en el Cuadro N° A-I del Anexo A de este Reglamento.

ARTICULO 6° Se considera como PARÁMETROS BÁSICOS, los siguientes: DBO5; DQO; Colifecales NMP; Oxígeno Disuelto; Arsénico Total; Cadmio; Cianuros; Cromo Hexavalente; Fosfato Total; Mercurio; Plomo; Aldrín; Clordano; Dieldrín; DDT; Endrín; Malatión; Paratión.

ARTICULO 7° En la clasificación de los cuerpos de agua se permitirá que hasta veinte de los parámetros especificados en el Cuadro N° A-1 superen los valores máximos admisibles indicados para la clase de agua que corresponda asignar al cuerpo, con las siguientes limitaciones:

1° Ninguno de los veinte parámetros puede pertenecer a los PARÁMETROS BÁSICOS del Art. 6°.

2° El exceso no debe superar el 50% del valor máximo admisible del parámetro.

## **CAPÍTULO V**

### **DEL REUSO DE AGUAS**

ARTICULO 67° El reuso de aguas residuales crudas o tratadas por terceros, será autorizado por el Prefecto cuando el interesado demuestre que estas aguas satisfacen las condiciones de calidad establecidas en el cuadro N° 1 -Anexo A- del presente Reglamento.

ARTICULO 68° Los fangos o lodos producidos en las plantas de tratamiento de aguas residuales que hayan sido secados en lagunas de evaporación, lechos de secado o por medios mecánicos, serán analizados y en caso de que satisfagan lo establecido para uso agrícola, deberán ser estabilizados antes de su uso o disposición final, todo bajo control de la Prefectura (Agua, 1992).

## **CAPÍTULO III**

## COMPONENTES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

Generalmente el nivel de contaminación de las aguas residuales no se mide a partir del conocimiento de la concentración de los distintos constituyentes de un agua residual que pueden ser considerados contaminantes, sino determinando parámetros globales como son: la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO), entre otros. En ocasiones, fundamentalmente cuando se trabaja con residuales industriales, las características de estos son tales que se requiere conocer constituyentes específicos, como pueden ser los metales pesados, tenso activos, fenoles y otros.

En algunos casos, por ejemplo, para la determinación de trazas de contaminantes orgánicos en aguas superficiales y para beber, se emplean técnicas analíticas especiales como la Cromatografía y la Espectrometría de masas.

Las características que distinguen un agua residual en un momento dado, son:

- Composición
- Concentración
- Condición

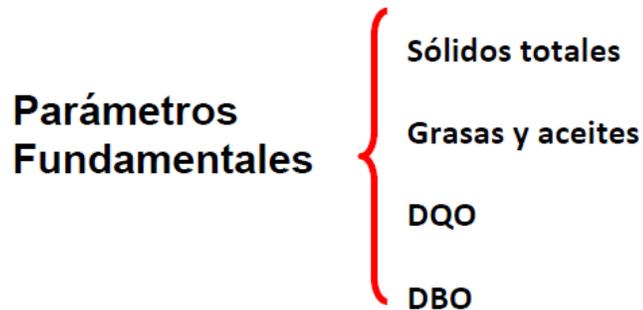
1. **Composición.** Depende de las materias que contiene en el momento estudiado.

2. **Concentración.** La proporción en que la materia sólida del albañal se encuentra diluida en el agua determina su concentración. Atendiendo a esto, se agrupan en residual: fuerte, medio y débil.

3. **Condición.** La condición del caldo cloacal es distinta en cada momento, debido a los múltiples procesos biológicos que tienen efecto y que lo alteran sensiblemente.

### **3.1 PARÁMETROS DE CONTROL PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

Dentro de los parámetros fundamentales para el control de la operación en los sistemas de tratamiento de las aguas residuales están:



#### **3.1.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS SÓLIDOS TOTALES EN LAS AGUAS RESIDUALES.**

El contenido de sólidos en el agua es uno de los parámetros más significativos. La cantidad, el tamaño y el tipo dependen del agua específica. Por ejemplo, un agua residual fecal no tratada, puede tener materia de partículas orgánica, incluyendo trozos de comida en el rango de milímetros, mientras que un agua tratada puede tener partículas en el rango de 10<sup>-6</sup> mm.

El conocimiento del contenido de sólidos de un agua o agua residual, aporta valiosa información sobre sus características, lo cual permite conocer de forma general su naturaleza y si éstas requieren de algún tratamiento en particular que facilite su remoción o eliminación.

Cuando se habla de sólidos contenidos en un agua residual se está haciendo referencia a aquello que permanece como residuo después de la evaporación y secado de la muestra a 103 °C.

Los sólidos en las aguas residuales pueden estar en forma suspendida, coloidal y disuelta. Todos ellos a su vez son de naturaleza inorgánica u orgánica. La fracción orgánica de los sólidos se determina mediante la pérdida por ignición a 600 °C.

Los sólidos se pueden clasificar como:

### **Clasificación de los sólidos**

- 1. Sólidos Totales (ST)**
- 2. Sólidos Suspendidos (SS)**
- 3. Sólidos Disueltos (SD)**
- 4. Sólidos Sedimentables**

#### **A) SÓLIDOS TOTALES (ST)**

Se considera como sólidos totales de un agua el residuo de la evaporación y secado a 103 – 105 ° C.

#### **B) SÓLIDOS SUSPENDIDOS (SS)**

Los sólidos suspendidos o no disueltos constituyen la diferencia entre los sólidos totales de la muestra no filtrada y los sólidos de la muestra filtrada. En la práctica los sólidos disueltos son aquellos con tamaño menor a 1,2 mm, tamaño nominal de poros correspondiente a los filtros de fibra de vidrio usados para hacer la separación.

#### **C) SÓLIDOS DISUELTOS (SD)**

Los sólidos disueltos representan el material soluble y coloidal, el cual requiere usualmente para su remoción, una oxidación biológica o coagulación y una sedimentación.

#### **D) SÓLIDOS SEDIMENTABLES**

La determinación de los sólidos sedimentables es de importancia particular en el análisis de las aguas residuales. Esta prueba se realiza normalmente en un Cono Imhoff o en una probeta graduada de 1L de capacidad, permitiendo que la muestra sedimente

durante 30 minutos. Los resultados obtenidos son medidos y reportados en ml. de sólidos sedimentables por litro de licor mezcla.

La prueba de sólidos sedimentables es una de las bases principales para determinar si es necesaria una sedimentación primaria en el tratamiento de las aguas residuales que se están estudiando, antes de ser sometidas a otro tipo de tratamiento. Una prueba similar se usa en la operación de las plantas de tratamiento para determinar la eficiencia de las unidades de sedimentación.

Los sólidos volátiles son, básicamente, la fracción orgánica de los sólidos o porción de los sólidos que se volatilizan a temperaturas de  $550 \pm 50$  ° C. Su determinación es muy importante en lodos activados, lodos crudos y lodos digeridos. El residuo de la calcinación se conoce como sólidos fijos y constituye la porción inorgánica o mineral de los sólidos (Canosa, págs. 3-7) .

### **3.1.2 GRASAS Y ACEITES**

El contenido de grasas y aceites en los residuos domésticos, en algunos residuos industriales y en los lodos, se debe considerar para su manipulación y tratamiento hasta la disposición final. Al aceite y la grasa, se les concede especial atención por su escasa solubilidad en el agua y su tendencia a separarse de la fase acuosa.

A pesar de que estas características son una ventaja para facilitar la separación del aceite y la grasa mediante el uso de sistemas de flotación, su presencia complica el transporte de los residuos por las tuberías, su eliminación en unidades de tratamiento biológico y su disposición en las aguas receptoras.

Las grasas y aceites han generado muchos problemas en el tratamiento de residuos.

Muy pocas plantas depuradoras tienen la posibilidad de separar estos materiales para su disposición en los sistemas de recolección de grasa o en los incineradores; en consecuencia, el residuo que se separa en forma de nata en los tanques de sedimentación primaria, normalmente es transferido a las unidades de disposición junto con los sólidos sedimentados.

En los tanques de digestión de lodos, los aceites y grasas tienden a separarse y a flotar en la superficie, para formar densas capas de natas debido a su escasa solubilidad en el agua y a su bajo peso específico. Los problemas de estas capas son especialmente graves cuando los residuos de alto contenido en grasa llegan al alcantarillado público, por ejemplo, los del empaque de carnes y los de las industrias de grasas y aceites. La filtración al vacío del lodo también se complica por su alto contenido graso.

No todos los aceites y las grasas de las aguas servidas son removidos en unidades de sedimentación primaria, en las aguas residuales clarificadas quedan cantidades considerables, en forma de emulsión finamente dividida. Durante el ataque biológico subsiguiente que ocurre en las unidades de tratamiento secundario o en las corrientes receptoras, los agentes emulsificantes usualmente se destruyen y las partículas finamente divididas de grasas y aceites se unen libremente en partículas más grandes que se separan del agua.

### **3.1.3 DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO)**

La DQO mide el oxígeno equivalente de sustancias orgánicas e inorgánicas en una muestra acuosa que, es susceptible a la oxidación por dicromato de potasio en una solución de ácido contenido de orgánicos en aguas y aguas residuales. Sin embargo, la correcta interpretación de los valores de DQO puede presentar problemas por lo cual se debe entender las variables que afectan los resultados de este parámetro.

El valor de la DQO es siempre superior al de la  $DBO_5$  porque muchas sustancias orgánicas pueden oxidarse químicamente, pero no biológicamente.

Generalmente, se podría esperar que la  $DBO_5$  última del agua residual se aproximara a la DQO. Sin embargo, existen muchos factores que afectan estos resultados especialmente en desechos industriales complejos. Estos factores son los siguientes:

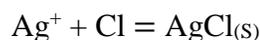
- 1) Muchos compuestos orgánicos que son oxidables por el dicromato no son bioquímicamente oxidables.

- 2) Ciertas sustancias inorgánicas, tales como sulfuros, sulfatos, tiosulfatos, nitritos y el ion ferroso, son oxidados por el dicromato creando una DQO inorgánica, lo cual entorpece los datos cuando la DQO se mide como el contenido de materia orgánica en un agua residual.
- 3) Los resultados de la DBO<sub>5</sub> pueden ser afectados por pérdida de semilla por aclimatación, dando resultados erróneos. Los resultados de DQO son independientes de esta variable.
- 4) Los cloruros interfieren en el análisis de la DQO. Se puede obtener lecturas más altas resultantes de la oxidación de cloruros por dicromato-

Esta interferencia puede ser eliminada por la adición de HgSO<sub>4</sub> a la mezcla, porque el Hg<sup>2+</sup> se combina con el Cl<sup>-</sup> para formar esencialmente HgCl<sub>2</sub> no ionizado:



Como la presencia de Ag<sup>+</sup> como catalizador es esencial para la oxidación de alcoholes y ácidos de cadena larga, si cantidades de Cl<sup>-</sup> continúan en el medio pueden reaccionar con los iones cloruro formando un precipitado de AgCl:



Que aporta lecturas erróneas de DQO.

### **3.1.4 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO).**

La DBO<sub>5</sub> es la cantidad de oxígeno empleado por los microorganismos a lo largo de un período de cinco días, para descomponer la materia orgánica de las aguas residuales a una temperatura de 20 °C.

La DBO<sub>5</sub> suele emplearse para comprobar la carga orgánica de las aguas residuales municipales e industriales biodegradables, sin tratar o tratadas. La DBO<sub>5</sub>, la cual es un estimativo de la cantidad de oxígeno requerido para estabilizar los materiales orgánicos biodegradables por una población heterogénea de microorganismos, es un parámetro

no bien definido que ha sido utilizado por muchos años, al asignar una demanda de oxígeno a las aguas residuales.

La prueba de laboratorio está influenciada por muchas variables y limitaciones como son:

- a) Aclimatación de la semilla
- b) La temperatura y el pH
- c) La presencia de compuestos tóxicos
- d) El tiempo de incubación
- e) Nitrificación

**a) Aclimatación de la Semilla**

El uso de una semilla biológica que no esté aclimatada al agua residual es un factor muy común responsable de resultados erróneos de DBO<sub>5</sub>. La semilla a utilizar en esta prueba debe ser preparada en un reactor continuo a escala de laboratorio, alimentado con disoluciones del desecho. La composición del desecho, puede ser incrementada y se considera la semilla como aclimatada una vez que la remoción de orgánicos y el oxígeno alcanzan un nivel máximo y llegan a estabilizarse.

**b) Temperatura y pH**

Los resultados de la DBO<sub>5</sub> pueden ser afectados si el pH de la muestra es menor de 6,5 o mayor de 8,3 unidades. Aunque la DBO<sub>5</sub> se lleva a cabo a una temperatura estándar de 20 °C, las condiciones del campo necesitan la incubación a otras temperaturas. Se requiere entonces un factor de corrección para compensar la diferencia de temperatura.

**c) Toxicidad**

La presencia de sustancias tóxicas en una muestra de agua residual puede tener un efecto biotóxico o bioestático sobre la semilla de microorganismos. Este efecto se

manifiesta por disminución de los valores de  $DBO_5$  donde, el resultado de la  $DBO_5$  aumenta con el aumento de la dilución de la muestra. Una vez se detecte la presencia de materiales tóxicos se debe tomar medidas para identificarlos y removerlos o usar diluciones donde los resultados de la  $DBO_5$  den valores consistentes.

**d) Tiempo de incubación**

La importancia de la variable de tiempo de incubación es indicada en la ecuación básica de la  $DBO_5$ . El tiempo de incubación usual es de cinco días, aunque el tiempo usual requerido para la completa estabilización ocurre ( $DBO_5$  última) dependiendo de la biodegradabilidad de los compuestos presentes y la capacidad depuradora de los microorganismos.

**e) Nitrificación**

Aunque algo de nitrificación ocurre a través del período de incubación, un efecto de dos etapas es generalmente observado. Esto resulta del hecho de que las constantes de velocidad de nitrificación, son mucho más bajas que las de la demanda carbonácea y la demanda nitrificante; no se inicia hasta que la demanda carbonácea esté completamente satisfecha. La medida de la demanda de oxígeno ejercida por la fracción carbonácea del desecho puede ser medida, retardando el proceso de nitrificación en la botella, adicionando inhibidores de la nitrificación o dejando que ella ocurra y sustraerla de la demanda total.

Diferentes autores expresan la carga orgánica contaminante de un residual para su comparación, como una relación equivalente de población para un parámetro específico, por ejemplo, la  $DBO_5$  (Canosa, págs. 9-14).

## **3.2 PARTES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO A DISEÑAR**

La etapa inicial de los tratamientos se denomina pretratamiento y se usa para homogenizar el afluente, separar grasas y aceites, eliminar sólidos muy gruesos como basura y material sedimentable de gran tamaño que llegan a una depuradora y que podrían atascar o dañar las bombas y la maquinaria.

### **3.2.1 PRE TRATAMIENTO**

#### **3.2.1.1 CRIBADO**

El cribado, también llamado desbroza, se emplea para la reducción de sólidos en suspensión de tamaños distintos. La distancia o aberturas entre las rejillas dependen del objetivo de las mismas y su limpieza se realiza manual o mecánicamente. Los productos recogidos se destruyen por incineración, tamizado, o se tratan por procesos de digestión anaerobia, o se dirigen directamente al vertedero. Las materias sólidas recogidas se suelen clasificar en finas y gruesas.

Las rejillas de finos tienen aberturas de 5 mm o menos. Generalmente están fabricadas de malla metálica de acero, o en base de placas o chapas de acero perforado. Sin embargo, aunque puede llegarse a eliminar entre un 5 y un 25% de los sólidos en suspensión, de un 40 a un 60% se eliminan por sedimentación. Por esta razón, y por el atascamiento que normalmente se origina, el uso de las rejillas finas o con aberturas pequeñas no es muy normal.

Las rejillas o Cribas de gruesos tienen aberturas que pueden oscilar entre los 4 y los 8 o 9 cm. Se usan como elementos de protección para evitar que sólidos de grandes tamaños dañen las bombas o equipos mecánicos.

### 3.2.1.2 OPERACIÓN DE CRIBADO

Las materias contenidas en las aguas residuales pueden encontrarse en suspensión, dispersión coloidal y disuelta. La materia en suspensión puede ser o no sedimentable.

Esta materia no sedimentable y de cierto tamaño es removida por la acción de “cribado”, dado su facilidad en la construcción y operación, es generalmente la primera operación que se realiza en la planta.

La operación de cribado se realiza mediante rejas o mallas y con los objetivos siguientes:

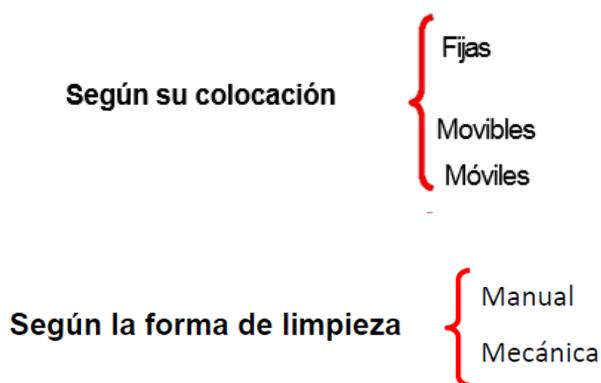
Evitar obstrucciones en los conductos

Proteger los equipos

Reducir la absorción y adherencia de oxígeno

Las rejas consisten en un conjunto de barras, situadas en paralelo y dejando una cierta distancia entre ellas, son las generalmente usadas cuando se hace manual la limpieza de las mismas, cuando la limpieza se hace mecánica, pueden ser rejas, mallas e incluso estas últimas pueden ser flexibles.

### 3.2.1.3 CLASIFICACIÓN DE LAS REJAS



**Según el tamaño de los espacios entre barras** { Fina (0,1 a 1,5 cm)  
Mediana (1,5 a 2,5 cm)  
Gruesa (2,5 a 5,0 cm)

**Según la sección transversal de las barras** { Cuadradas  
Redondas o circulares  
Rectangulares  
Aerodinámicas, etc.

Las Cribas más usadas en nuestro país, son rejas fijas o movibles, de limpieza manual, medianas o gruesas.

Las rejas se sitúan en unos canales y el conjunto recibe el nombre de “Cámara de rejas” (Canosa, DISEÑO HIDRÁULICO DE TECNOLOGÍAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ; Tratamiento Mecánico de los Residuales Líquidos III Parte ).

#### **3.2.1.4 DESARENADORES**

Son canales o cámaras que se construyen con el objetivo de remover materia inerte, mineral, como la arena, para prevenir desgaste en los equipos y acumulación indeseada de materia inerte pesada en sifones invertidos, tanques de sedimentación y digestores.

La mayoría de los desarenadores se construyen en forma de canales alargados y de poca profundidad, que retengan partículas con un peso específico de 2,65 y diámetro de 2-10-3 cm, para lograr esto, a pesar de la fluctuación del flujo, se hace necesario mantener prácticamente constante la velocidad.

### 3.2.1.5 CLASIFICACIÓN DE LOS DESARENADORES



### RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO

Tabla 3.1 Criterio de Diseño de desarenadores

Tiempo de retención	
Máximo	60 s
Promedio	30 s
Velocidad del flujo	0,30 m/s
Peso específico ( $\gamma$ )	2,5 – 2,65

FUENTE: Dr. Eduardo Márquez Canosa, Curso II “Diseño Hidráulico de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales”

\* 2,5-2,65 g/cm<sup>3</sup>

### 3.2.2 TRATAMIENTO PRIMARIO

#### 3.2.2.1 CÁMARAS SÉPTICAS

Esta unidad de tratamiento primario conjunciona los procesos de sedimentación, digestión y almacenamiento de sólidos en suspensión que contienen las aguas residuales, puede estar conformada de uno o más compartimientos.

## **DISPOSITIVOS DE INGRESO Y SALIDA**

Mediante conexión en Te, o cortina, la generatriz inferior de la tubería de ingreso deberá estar como mínimo 5 cm por encima de la superficie del líquido en el interior del tanque.

En el ingreso la parte inferior de la Te o cortina, deberá estar sumergida a más de 10 cm respecto a la superficie del líquido en el interior del tanque, a la salida la sumergencia de la Te o cortina será 1/3 de la altura de agua del tanque.

## **VOLUMEN DEL TANQUE**

Las cámaras sépticas deben dimensionarse teniendo en cuenta un volumen destinado a la sedimentación y un volumen para la acumulación del lodo, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$V = 1000 + N (D * T + L_f * K)$$

Donde:

V = Volumen útil (l)

N = Número de personas o unidades de contribución (habitantes ó unidades)

T = Tiempo de detención

$L_f$  = Contribución de lodo fresco (l/h/d)

K = Tasa de acumulación de lodo (d)

D = Dotación per cápita (l/h/d)

## **TIEMPOS DE DETENCIÓN (T)**

Los tiempos de retención van desde las 24 horas para tanques de 1.500 litros hasta las 12 horas para tanques mayores a 9.000 litros de capacidad.

## CONTRIBUCIÓN DE LODO (LF)

Se tomará como contribución de lodo fresco per cápita  $L_f = 1 \text{ l/h*d}$

## TASA DE ACUMULACIÓN DEL LODO (K)

Tabla 3.2 Valores de la Tasa de acumulación de lodo

Intervalo entre limpieza del tanque séptico (años)	Valores de K en días		
	$t \leq 10 \text{ }^\circ\text{C}$	$10 < t \leq 20 \text{ }^\circ\text{C}$	$T > 20 \text{ }^\circ\text{C}$
1	94	65	57
2	134	105	97
3	174	145	137

FUENTE: NB 688 *INSTALACIONES SANITARIAS - ALCANTARILLADO SANITARIO, PLUVIAL Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES*; pág. 57

## GEOMETRÍA DE LOS TANQUES

Pueden ser cilíndricos o prismáticos rectangulares, en caso de tanques cilíndricos considerar un diámetro interno mínimo de 1,10 m.

En rectangulares la relación larga/ancho: mínimo 2:1 y máximo 4:1.

Las profundidades útiles varían de un mínimo de 1,20 m a un máximo de 2,80 m.

## PROFUNDIDADES DE LOS TANQUES SÉPTICOS

La profundidad útil mínima de los tanques sépticos deberá ser 1,20 m y la máxima 2,80 m.

## **REGISTROS DE INSPECCIÓN**

Los registros deben estar ubicados de forma tal que posibiliten la limpieza del tanque séptico, deberán tener aberturas de 0,60 m (DIGESBA, Diciembre de 2001, págs. 56-57).

### **3.2.3 TRATAMIENTO SECUNDARIO**

#### **3.2.3.1 REACTOR ANAERÓBICO DE FLUJO ASCENDENTE TIPO RALF**

En los procesos anaeróbicos de tratamiento de aguas residuales mediante reactores de manto de lodo, es de gran importancia desarrollar y mantener lodo de elevada actividad y con excelentes características de sedimentación.

Los reactores anaeróbicos de manto de lodo, deberán ser utilizados en climas cálidos con temperaturas promedias  $\geq 15^{\circ}\text{C}$  en el mes más frío.

En reactores que tratan aguas residuales domésticas deberán observarse los siguientes criterios.

### **CARGAS ORGÁNICAS**

La carga orgánica volumétrica como cantidad de (masa) de materia orgánica aplicada diariamente al reactor por unidad de volumen para efluentes domésticos deberá estar entre 2,5 y 3,5 kg DQO/m<sup>3</sup>/d.

La carga biológica (carga de lodo) referida a la cantidad (masa) de materia orgánica aplicada diariamente al reactor por unidad de biomasa, deberá ser del orden de:

- 0,05 a 0,15 kg DQO/kg SVT                      en fase inicial o partida del reactor
- $\leq 2,0$  kg DQO/kg SVT                      en régimen permanente o de operación

## **TIEMPOS DE RETENCIÓN**

El tiempo de retención hidráulica para aguas residuales domésticas tratadas a temperaturas próximas a los 20 °C, deberá ser del orden de 8 a 10 horas para caudal medio; a caudal máximo horario el tiempo de retención no deberá ser inferior a 4 horas y los picos de caudal máximo no deberán prolongarse por más de 4 a 6 horas.

## **VELOCIDADES ASCENSIONALES**

Las velocidades ascensionales deben ser del orden de 0,5 a 0,7 m/h, siendo tolerados picos temporarios durante 2 horas de 1,5 a 2,0 m/h

Las velocidades que posibilitan el paso de las aguas residuales al decantador deben ser:

- 2,0 - 2,3 m/h para caudal medio
- 4,0 - 4,2 m/h para caudal máximo
- 5,5 - 6,0 m/h para caudales pico con duración de 2 a 4 horas

## **SISTEMA DE ALIMENTACIÓN**

La partición de los caudales de ingreso al fondo del reactor, debe ser efectuada de forma tal que el agua sea distribuida en cada uno de los tubos difusores en proporciones iguales.

La distribución en el fondo del reactor será efectuada a través de los tubos difusores, con alimentación regular de flujo, evitando cortar circuitos o zonas muertas, se recomienda 1 difusor para cada 2 a 4 m<sup>2</sup> de la superficie del fondo.

La velocidad descendente del agua en los tubos difusores no debe ser inferior a 0,20 m/s, se recomienda que los tubos tengan diámetros de 75 a 100 mm.

El flujo deberá ser dirigido de forma de obtener un movimiento ascendente contra el manto de lodos, eliminándose zonas muertas o cortos circuitos.

## **GEOMETRÍA DEL REACTOR**

Los reactores podrán tener forma cilíndrica o rectangular, adecuándose esta última conformación al caso de utilizarse varias unidades formando una batería de tratamiento.

La profundidad del reactor debe estar entre 4,5 y 6,0 m y será la suma de la altura del compartimiento de sedimentación, del compartimiento de digestión y del bordo libre.

La inclinación de las paredes en la zona del manto de lodo y de decantación, deberá ser superior a los 45°, respecto a la horizontal.

## **RECOLECCIÓN DEL EFLUENTE**

Deberá ser efectuada en la parte superior del reactor junto al compartimiento de sedimentación, los dispositivos usuales utilizados para la recolección del efluente serán vertederos triangulares, o mediante tubos perforados sumergidos.

## **DRENAJE DE LODO**

Para el descarte periódico de lodos y el material inerte que eventualmente puede depositarse al fondo del reactor, se debe prever por lo menos 2 puntos de drenaje, uno junto al fondo y el otro aproximadamente a 1,0 a 1,5 m arriba del fondo (DIGESBA, Diciembre de 2001, págs. 60-62).

### **3.2.4 LECHOS DE SECADO**

Los lechos de secado son generalmente el método más simple y económico de deshidratar los lodos estabilizados.

Previo al dimensionamiento de los lechos se calculará el volumen de lodos estabilizados. El peso específico de los lodos digeridos varía entre 1,03 y 1,04; si bien

el contenido de sólidos en el lodo digerido depende del tipo de lodo, los siguientes valores se dan como guía:

- Para lodo primario digerido de 8 a 12% de sólidos.
- Para lodo digerido de procesos biológicos 6 a 10% de sólidos.

El área de los lechos de secado se determina adoptando una profundidad de aplicación entre 20 y 40 cm y calculando el número de aplicaciones por año. Para el efecto se deben tener en cuenta los siguientes periodos de operación:

- Período de aplicación de 4 a 6 horas.
- Períodos de secado entre 3 y 4 semanas para climas cálidos y entre 4 y 8 semanas para climas fríos.
- Periodos de remoción del lodo seco entre 1 y 2 semanas, efectuada en forma manual y períodos de 1 a 2 días si se efectúa en forma mecanizada.

Adicionalmente se comprobarán los requerimientos de área teniendo en cuenta las siguientes recomendaciones:

**Tabla 3.3 Recomendaciones para tipo de lodo digerido**

<b>Tipo de lodo digerido</b>	<b>kg sólidos / m<sup>2</sup> año</b>
Primario	120 - 146
Primario y filtros percoladores	90 - 120
Primario y lodos activados	60 - 100

Para el diseño de los lechos de secado se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

Pueden ser construidos de mampostería, de hormigón ó tierra, con profundidad útil de 50 a 60 cm y ancho variable entre 3 y 10 m.

El fondo estará conformado por ladrillos separados entre 2 y 3 cm, colocados sobre el medio filtrante que es una capa de arena 15 cm con tamaño efectivo de 0,3 a 1,3 mm y coeficiente de uniformidad inferior a 5.

Debajo de la arena se colocará un estrato de grava graduada entre 1,6 y 50 mm, de 30 a 40 cm de espesor.

El drenaje estará conformado por tuberías de 100 mm de diámetro, instaladas debajo de la grava.

Alternativamente se pueden construir lechos pavimentados, utilizando losas prefabricadas de hormigón con pendiente de 1,5% hacía canales centrales de drenaje.

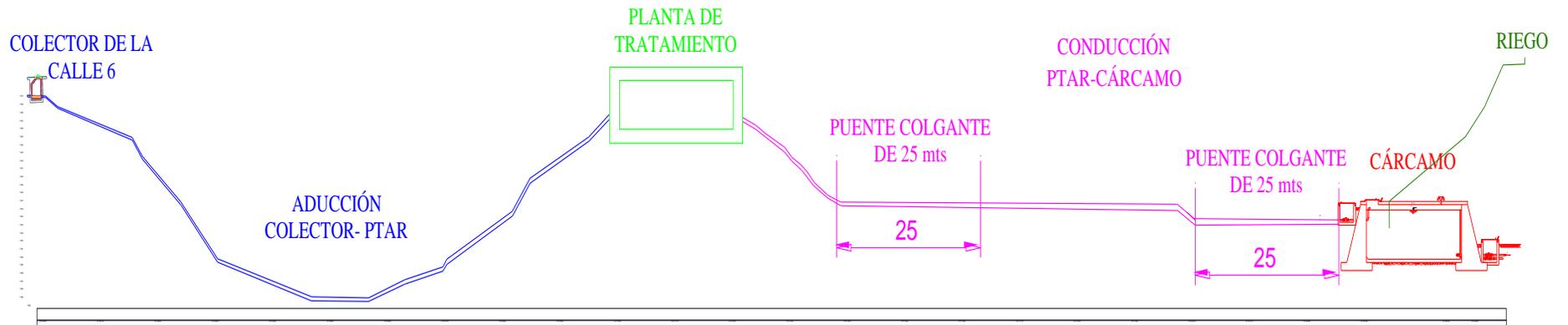
Para cada lecho se debe instalar una tubería de descarga con su respectiva válvula de compuerta.

## CAPÍTULO IV

### DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

#### 4.1 CROQUIS DE PLANTA

Ilustración 4.1 Croquis del Proyecto

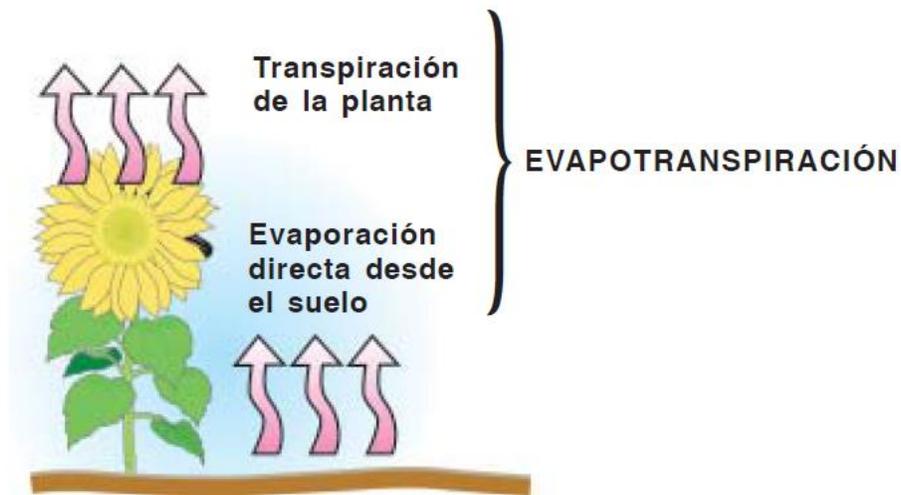


FUENTE: Elaboración propia

## 4.2 CÁLCULO DEL CAUDAL REQUERIDO (NECESIDADES HÍDRICAS DEL JARDÍN)

La cantidad de agua empleada en los procesos de transpiración y evaporación suele considerarse de manera conjunta por la dificultad de calcularlas por separado. Por tanto, se considera que las necesidades de agua de las plantas de un jardín están representadas por la suma de la evaporación directa desde el suelo y de la transpiración de las plantas, en lo que se denomina evapotranspiración (ET).

**Ilustración 4.2** Esquema de la Evapotranspiración; Necesidades de agua de las plantas.



*FUENTE: MANUAL DE RIEGO DE JARDINES (Antonio Martín Rodríguez, pág. 32)*

El valor de ET depende del clima y del tipo de planta, valores relacionados entre sí, que para simplificar se considerarán por separado. Así la evapotranspiración es el producto de un valor que representa al clima, evapotranspiración de referencia ( $E_{Tr}$ ), por un valor que representa a la planta, el coeficiente de cultivo ( $K_c$ ). En general, la evapotranspiración se expresa en milímetros de altura de agua evapotranspirada cada día (mm/día).

$$\text{Evapotranspiración (E}_T\text{)} = \text{Evapotranspiración de referencia (E}_{Tr}\text{)} \cdot \text{Coeficiente de cultivo (K}_c\text{)}$$

Sin embargo, la diversidad de especies de árboles, plantas, céspedes, etc. dentro de un jardín dificulta el cálculo de la evapotranspiración de la forma antes señalada, ya que dentro de un mismo jardín existen varios factores que hacen variar la ET. Estos factores son:

- Las hidrozonas o zonas de riego en las que se podría dividir un jardín en función del tipo de plantas que existan y sus necesidades hídricas.
- La variabilidad de densidad de plantación según las especies existentes.
- Los diferentes microclimas que se crean en el jardín por la existencia de zonas soleadas frente a otras de sombra, zonas más cálidas, más aireadas, etc.

Por esto en el cálculo de la evapotranspiración de un jardín habrá que tener en cuenta una serie de coeficientes diferentes al coeficiente de cultivo ( $K_c$ ), que se engloban en un coeficiente denominado coeficiente de jardín, que se explicará con más detalle más adelante.

$$\text{Evapotranspiración (ET)} = \text{Evapotranspiración de referencia (ETr)} \cdot \text{Coeficiente de jardín (K}_L\text{)}$$

### **COEFICIENTE DE JARDÍN ( $K_L$ )**

$$K_L = K_S \cdot K_d \cdot K_m$$

$K_L$  = Coeficiente de jardín

$K_S$  = Factor especie

$K_d$  = Factor densidad

$K_m$  = Factor microclima

### **COEFICIENTE DE ESPECIE ( $K_S$ )**

La variedad de plantas que normalmente se encuentra en un jardín dificulta el cálculo de las necesidades hídricas. Para simplificar estos cálculos y poder aplicar el agua necesaria a cada tipo de planta, lo ideal sería agrupar las especies con necesidades de riego similares en zonas

de riego comunes o hidrozonas, que se podrían regar de forma independiente, logrando así un uso más eficiente del agua.

El valor del coeficiente de especie es clave para la determinación del coeficiente del jardín, sin embargo, no existe una lista normalizada de valores de  $K_s$ , por lo que en numerosas ocasiones los profesionales de la jardinería deberán recurrir a su propio criterio y experiencia para establecer el valor de dicho coeficiente.

**Tabla 4.1 El valor del coeficiente de especie es clave para la determinación del coeficiente del jardín**

Tipo de vegetación	factor especie ( $K_s$ )		
	a	m	b
Arboles	0,9	0,5	0,2
Arbustos	0,7	0,5	0,2
Tapizantes	0,7	0,5	0,2
Plantación mixta	0,9	0,5	0,2
Césped	0,8	0,7	0,6

El factor especie para los árboles se basa en valores para cultivos de árboles con valor agrícola, mientras las estimaciones para plantas tapizantes son estimaciones basadas en investigaciones preliminares desarrolladas en California (a = alto, m = medio, b = bajo).

Los valores para árboles, arbustos y plantas tapizantes son adecuados para jardines que contienen solamente o predominantemente uno de estos tipos de vegetación. Las plantaciones mixtas están formadas por dos o tres tipos distintos de vegetación (árboles, arbustos y plantas tapizantes) sin ninguno de ellos predominante sobre los otros. Para los céspedes, el valor bajo de  $K_s$ , 0,6, se asignará a los céspedes de estación cálida, y el valor alto (0,8) a los céspedes de estación fría. Los valores para el césped se incluyen para proporcionar la tabla completa de coeficientes. Con esta tabla se asume que no existe superficie descubierta en el jardín, si no es así,  $K_d$  se debería aumentar en un 10-20%, especialmente para árboles y arbustos, debido a la evaporación de la superficie del suelo.

*FUENTE: Estimación de las Necesidades Hídricas de las Plantas de Jardín (Laurence R. Costello, 1991, pág. 123)*

### **COEFICIENTE DE DENSIDAD ( $K_d$ )**

Los jardines difieren considerablemente en cuanto a sus densidades de vegetación. Los recién instalados o aquellos con plantas espaciadas tienen en general menor superficie foliar que los jardines maduros o densos. Las pérdidas de agua en un jardín denso son mayores que en uno

de baja densidad, a pesar de que las plantas individuales en un jardín espaciado puedan perder más cantidad de agua para una superficie foliar determinada.

El valor del coeficiente de densidad está en función del tipo de vegetación presente en el jardín, siendo el caso más difícil de evaluar el de los árboles.

Los jardines más comunes son los de plantaciones mixtas de elevada densidad, es decir aquellos que tienen árboles y arbustos plantados sobre una capa de tapizantes.

**Tabla 4.2 Valores Del Coeficiente De Densidad**

Tipo Vegetación	Coeficiente de densidad (Kd)		
	a	m	b
Árboles	1,3	1,0	0,5
Arbustos	1,1	1,0	0,5
Tapizantes	1,1	1,0	0,5
Plantación mixta	1,3	1,1	0,6
Césped	1,0	1,0	0,6

Los valores para árboles, arbustos y plantas tapizantes son adecuados para jardines que contienen solamente o predominantemente uno de estos tipos de vegetación.

Las plantaciones mixtas están formadas por dos o tres tipos distintos de vegetación (árboles, arbustos o tapizantes).

En esta clasificación se asume que no existe superficie descubierta en el jardín. Si no es así, Kd se debe aumentar entre un 10 y un 20%, especialmente para árboles y arbustos.

FUENTE: MANUAL DE RIEGO DE JARDINES (Antonio Martín Rodríguez, pág. 38)

### **COEFICIENTE MICROCLIMA ( $K_m$ )**

La pérdida global de agua en un jardín también se ve afectada por las condiciones ambientales del mismo. Las zonas con distintas condiciones ambientales dentro de una misma zona climática se denominan microclimas. Las edificaciones o pavimentación típica de los jardines urbanos pueden influir sobre las condiciones naturales del jardín. Así, por ejemplo, los

jardines de las zonas de aparcamiento están sometidos a mayor temperatura y menor humedad que los jardines de los parques.

**Tabla 4.3 Valores Del Coeficiente De Microclima**

Tipo Vegetación	Coeficiente de Microclima (Km)		
	a	m	b
Árboles	1,4	1,0	0,5
Arbustos	1,3	1,0	0,5
Tapizantes	1,2	1,0	0,5
Plantación mixta	1,4	1,0	0,5
Césped	1,2	1,0	0,8

Los valores para árboles, arbustos y plantas tapizantes son adecuados para jardines que contienen solamente o predominantemente uno de estos tipos de vegetación.

Las plantaciones mixtas están formadas por dos o tres tipos distintos de vegetación (árboles, arbustos o tapizantes).

FUENTE: MANUAL DE RIEGO DE JARDINES (Antonio Martín Rodríguez, pág. 40)

$$K_L = K_S \cdot K_d \cdot K_m$$

**Tabla 4.4 Tabla de Valores obtenidos para calcular el Coeficiente de Jardín**

Tipo de Vegetación	K <sub>s</sub>	K <sub>d</sub>	K <sub>m</sub>	
ARBOLES	0,9	1,3	1,4	1,638
PLANTACIÓN MIXTA	0,9	1,3	1,4	1,638
CÉSPED	0,8	1	1,2	0,96

FUENTE: Elaboración propia

$$K_L = 1,638 + 1,638 + 0,96$$

$$K_L = 4,236$$

## NECESIDADES DE AGUA

$$ET = K_L \cdot E_{Tr}$$

ET = Evapotranspiración

$E_{Tr}$  = Evapotranspiración de referencia (valor promedio obtenido por la base de datos el SENAMHI, realizando una relación de los valores máximos entre el mes de septiembre y octubre por ser valores críticos, y coincidir con el inicio del año hidrológico de un periodo considerado desde 1944 al 2015, estación meteorológica de Tarija Aeropuerto) (véase el Anexo 2)

$K_L$  = Coeficiente de jardín

$$ET = 4,236 \cdot 126,23 \text{ mm/mes}$$

$$ET = 534,71 \frac{\text{mm}}{\text{mes}} \cdot \frac{1 \text{ mes}}{30 \text{ días}}$$

$$ET = 17,82 \text{ mm/d}$$

## NECESIDADES NETAS DE RIEGO

$$N_n = ET - LL$$

$N_n$  = Necesidades netas de riego

ET = Evapotranspiración

LL = Lluvia o precipitación efectiva

El Programa Nacional de Riego, en función a las características agro ecológicas de las regiones de altiplano, valles y chaco; considera que no son efectivas las precipitaciones menores a 12, 15 y 20 mm respectivamente.

Las lluvias mensuales, resultantes de la diferencia, son efectivas al 70, 75 y 80%. Siendo adoptadas las siguientes expresiones para el cálculo de la precipitación efectiva:

$$\text{Altiplano: } (pp \text{ mm/mes} - 12) \cdot 0.70$$

$$\text{Valles: } (pp \text{ mm/mes} - 15) \cdot 0.75$$

$$\text{Chaco: } (pp \text{ mm/mes} - 20) \cdot 0.80$$

Dónde:

pp = precipitación media mensual en mm.

- Como la precipitación media mensual (valor promedio obtenido por la base de datos el SENAMHI, realizando una relación de los valores máximos entre el mes de septiembre y octubre por ser valores extremos del inicio del ciclo hidrológico de la muestra desde 1962 al 2015, estación meteorológica de Tarija Aeropuerto) (véase el Anexo 2) por ser el más crítico no presenta lluvias mayores a los 15 mm, se desprecia el valor de la precipitación efectiva, por tanto:

$$N_n = ET$$

$$N_n = 17,82 \text{ mm/d}$$

Sin embargo, el agua que se aporta al suelo con un riego no es aprovechada en su totalidad por la planta, sino que parte se pierde por escorrentía y/o filtración profunda. Por tanto, la cantidad de agua que se debe aportar con el agua de riego o Necesidades brutas ( $N_b$ ) se calculará teniendo en cuenta una serie de factores como:

- La eficiencia de aplicación del riego ( $E_a$ )
- La fracción de lavado ( $FL$ )

## **EFICIENCIA DE APLICACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO**

Debido a que los sistemas de riego no son totalmente eficaces, para el cálculo de las necesidades brutas de riego es necesario considerar la eficiencia de aplicación del sistema (Ea) o el porcentaje de agua que las raíces de las plantas aprovechan con respecto al total aplicada. Su valor dependerá del método de riego empleado, superficie, localizado o aspersión.

En general se puede considerar que la eficiencia de aplicación utilizando el riego localizado es de un 85-90%, mientras que en riego por aspersión este porcentaje desciende hasta un 70-80%, y en superficie hasta aproximadamente un 60%. En cualquier caso, los valores de eficiencia dependerán en gran medida del manejo que se haga de los riegos.

Teniendo en cuenta la eficiencia de aplicación, las necesidades brutas de riego se calcularían con la siguiente expresión:

$$\mathbf{Nb = \frac{Nn}{Ea} \cdot 100}$$

Nb= Necesidades brutas de riego

Nn= Necesidades netas de riego

Ea= Eficiencia de aplicación (en tanto por uno)

## **FRACCIÓN DE LAVADO**

Otro aspecto a considerar a la hora del cálculo de las necesidades brutas de riego es la necesidad de aportar una cantidad de agua extra para el lavado de sales, cuando el agua de riego es salina o el suelo está muy salinizado.

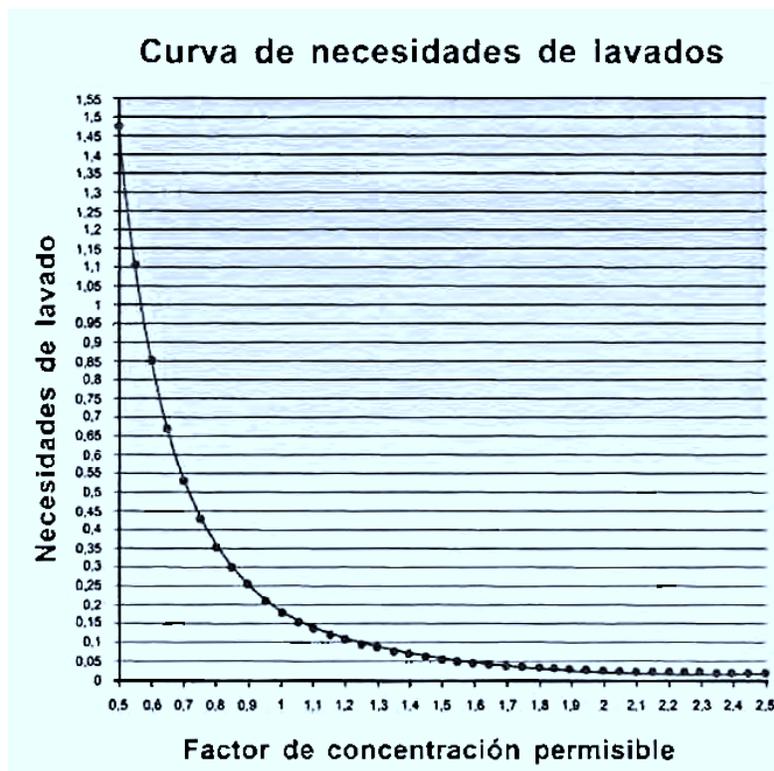
El cálculo de las necesidades de lavado se realiza en función de la salinidad del agua de riego y del umbral de tolerancia de las plantas a la salinidad. La tolerancia a la salinidad es la capacidad de la planta de soportar el exceso de sales en la zona radicular; no se trata de un valor exacto, sino que depende de varios factores como el tipo de sales del agua de riego, el

clima, el estado de desarrollo de la planta, y el tipo de riego. El umbral de tolerancia a la salinidad es aquella cantidad de sales por encima de la cual la planta sufre reducciones en su crecimiento y producción con respecto a condiciones no salinas y suele darse en milimhos por centímetro (mmho/cm) o decisiemens por metro (dS/m).

La cantidad de agua de lavado se puede estimar fácilmente a partir de una curva de necesidades de lavado, calculando previamente el factor de concentración permisible ( $F_c$ ). Este factor se obtiene dividiendo el umbral de tolerancia a la salinidad de una planta por la salinidad del agua de riego, que se desprende de un análisis de la misma. Una vez establecidas las necesidades de lavado, se transforman en fracción de lavado, dividiendo por 100.

$$F_c = \frac{\text{Umbral de tolerancia del cultivo (dS/m)}}{\text{Salinidad del agua de riego (dS/m)}}$$

Ilustración 4.3 Curva de necesidades de lavados



FUENTE: MANUAL DE RIEGO DE JARDINES (Antonio Martín Rodríguez, pág. 44)

\* Para el riego de un jardín público se utiliza agua residual depurada, con una salinidad de 3,3 dS/m, cuyo umbral de tolerancia a la salinidad es de 3 dS/m. (valores obtenidos en Manual de Riego de Jardines, (Antonio Martín Rodríguez, pág. 233))

$$F_c = \frac{3}{3.3} = 0,90$$

Ilustración 4.4 Curva de Necesidades de Lavados



FUENTE: MANUAL DE RIEGO DE JARDINES (Antonio Martín Rodríguez, pág. 45)

Una vez conocidas la eficiencia de aplicación y las necesidades de lavado, las necesidades brutas de riego se calcularían:

$$\mathbf{Nb} = \frac{\mathbf{Nn}}{\mathbf{Ea} \cdot (\mathbf{1-FL})} \cdot \mathbf{100}$$

Nb= Necesidades brutas

Nn= Necesidades netas de riego

Ea=Eficiencia de aplicación (en tanto por uno)

FL=Fracción de lavado (en tanto por uno)

Si se utiliza esta última expresión para el cálculo de las necesidades brutas de riego, éstas pueden estar mayoradas en demasía, ya que el agua que se pierde por filtración profunda también está realizando un lavado de sales. Por este motivo las necesidades brutas de riego se calculan con las siguientes expresiones, según se trate de un sistema de riego localizado o por aspersión.

**• Riego por aspersión:**

– Si la fracción de lavado es inferior al 10%:

$$\mathbf{Nb} = \frac{\mathbf{Nn}}{\mathbf{Ea}} \cdot \mathbf{100}$$

– Si la fracción de lavado es superior al 10%:

$$\mathbf{Nb} = \frac{\mathbf{0,9 \cdot Nn}}{\mathbf{Ea \cdot (1-FL)}} \cdot \mathbf{100}$$

**LAS NECESIDADES BRUTAS SERAN:**

$$Nb = \frac{0,9 \cdot 17,82 \text{ mm/d}}{75 \cdot (1-0.25)} \cdot 100$$

$$Nb = 28,51 \text{ mm / d}$$

Convirtiendo la lámina de agua en términos de caudal

$$\begin{array}{l} 1 \frac{l}{s} \text{ ha} \quad \dots\dots\dots 8,640 \frac{mm}{d} \\ X \quad \dots\dots\dots 28,51 \frac{mm}{d} \end{array}$$

$$X = 3,30 \frac{l}{s} \text{ ha}$$

Dado que es para una hectárea y el proyecto comprende un área de 1,87 hectáreas el caudal será:

$$Q = 3,30 \frac{l}{s} \text{ ha} \cdot 1,87 \text{ ha}$$

$$Q = 6,17 \frac{l}{s}$$

### 4.3 JUSTIFICACIÓN DE LA ELECCIÓN DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO

Las aguas residuales pueden degradarse por procesos biológicos cuando la relación  $DBO_5/DQO \geq 0,5$ . Se puede establecer que  $DBO_5/DQO = 0,5$  denota un grado satisfactorio de biodegradabilidad. Una relación  $DBO_5/DQO$  inferior a 0,5, permite sospechar la presencia de sustancias tóxicas que retardan o inhiben la biodegradabilidad (metales pesados, cianuros, cloro, etc.) aún en presencia de sustancias carbonadas, resistentes ellas mismas a la descomposición biológica. Un valor de la relación  $DBO_5/DQO$  menor de 0,2 se interpreta como un vertido de tipo inorgánico y orgánico si es mayor de 0,5.

**Tabla 4.5 Relación  $DBO_5/ DQO$**

FECHA	DBO5 (mg/l)	DQO(mg/l)	DBO/DQO
30/06/2015	256.00	446.00	0.57

*FUENTE: CEANID Y COSAALT, datos obtenidos en pruebas de laboratorio (Anexo 8)*

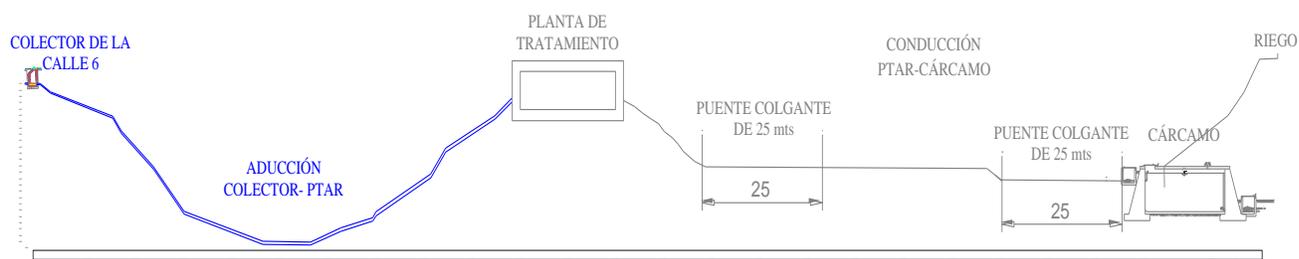
#### 4.4 ELECCIÓN Y DISEÑO DE LA ADUCCIÓN

Para realizar la elección de la aducción se trazaron diferentes alternativas, a diferentes pérdidas de carga, variando un metro entre cada alternativa para observar el comportamiento hidráulico en cada una de ellas, siguiendo la topografía del proyecto.

Cada alternativa se realizó con el programa Aquasystems donde se puede observar la elección del diámetro de la tubería el comportamiento de la misma, y el perfil de la línea Piezométrica que debe cumplir la presión mínima establecida en la norma boliviana NB 688 en cada punto o tramo (véase Anexo 3).

La elección fue analizando cada una de ellas viendo que el caudal requerido para toda el área comprendida de 1,87 ha del proyecto es de 6,17 l/s, donde se considera, sobre todo las características hidráulicas que requiere nuestra planta a ser diseñada, para aprovechar la pérdida de carga más óptima para nuestro proyecto, y no así escogiendo la tubería más económica sino la alternativa donde las características hidráulicas y topográficas sean las más convenientes para nuestro diseño, cumpliendo este análisis la alternativa 1 es con la que se va a trabajar para realizar el diseño del presente trabajo

**Ilustración 4.5 Croquis sistema de Aducción**



*FUENTE: Elaboración propia*

**Tabla 4.6 Elección de Alternativas para el diseño de la aducción**

alternativa	Diámetro (mm)	Q (l/s)	$h_f$ (m)
1	75	6,17	2,5
2	75	6,17	3,5
3	75	6,17	4,5
4	62,5-75	6,17	5,5
5	62,5	6,17	6,5
6	50-37,5	6,17	7,5

*FUENTE: Elaboración propia*

Ya que la relación

$$\Delta H > h_f$$

$$h_f = 2,5 \cdot 20 \%$$

$$h_f = 3\text{m}$$

dado que entre la alternativa 1 y la alternativa 2 la pérdida está comprendida entre 2,5 y 3,5 m con el mismo diámetro de tubería, queda comprobado que es la mejor alternativa.

Tabla 4.7 Tabla diseñada por el programa Aquasystems (Diámetro asumido por el programa)

<p align="center"><b>“DISEÑO HIDRAULICO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO PARA EL REUSO DEL AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA EN RIEGO DE ÁREAS VERDES EN EL PARQUE MIRADOR HÉROES DE LA INDEPENDENCIA (SENAC)”</b></p> <p align="center"><b>DISEÑO DE ADUCCIÓN DESDE LA CÁMARA HACIA EL INICIO DEL PRETRATAMIENTO DE LA PTAR</b></p>																
Ecuación de la energía				Darcy-Weisbach				Número de Reynolds				Colebrook-White				
$constante = Z + \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + h_f$				$h_f = f \frac{8 \cdot L \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot g \cdot D^5}$				$Re = \frac{V (m/s) \cdot D(m)}{\nu (m^2/s)}$				$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log \left( \frac{e/D}{3.71} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right)$				
Tramo	Nodo Inicial	Nodo Final	Cota Terr. Inicial	Cota Terr. Final	Prof. Tub. Inicial [m]	Prof. Tub. Final [m]	Cota Tubería Inicial	Cota Tubería Final	Desnivel del Tramo [m]	Desnivel Acumulado [m]	Longitud Tramo [m]	Longitud Acumulada [m]	Caudal Q [l/s]	Diámetro [mm]	Material	Rugosidad Absoluta
Línea Principal																
1	1	2	1,908.00	1,904.00	1.5	1.5	1,906.50	1,902.50	4	4	9.28	0+009.28	6,17	62.5	PVC	0,0015
2	2	3	1,904.00	1,900.00	1.5	1.5	1,902.50	1,898.50	4	8	7.51	0+016.79	6,17	62.5	PVC	0,0015
3	3	4	1,900.00	1,897.50	1.5	0	1,898.50	1,897.50	1	9	4.74	0+021.53	6,17	62.5	PVC	0,0015
4	4	5	1,897.50	1,897.00	0	0	1,897.50	1,897.00	0.5	9.5	25.22	0+046.75	6,17	62.5	PVC	0,0015
5	5	x	1,897.00	1,897.00	0	1.2	1,897.00	1,895.80	1.2	10.7	21.91	0+068.65	6,17	62.5	PVC	0,0015
x	x	6	1,897.00	1,897.00	1.2	1.2	1,895.80	1,895.80	0	10.7	12.67	0+081.33	6,17	50	PVC	0,0015

6	6	7	1,897.00	1,895.00	1.2	0	1,895.80	1,895.00	0.8	11.5	3.36	0+084.68	6,17	50	PVC	0,0015
7	7	8	1,895.00	1,895.00	0	0	1,895.00	1,895.00	0	11.5	25.01	0+109.70	6,17	50	PVC	0,0015
8	8	9	1,895.00	1,895.00	0	0.85	1,895.00	1,894.15	0.85	12.35	5.66	0+115.35	6,17	50	PVC	0,0015

Número de Reynolds	Factor de Fricción	Pérdidas por D.W. [m]	Cota Energía Inicial	Cota Energía Final	Piezo-métrica Inicial [m]	Piezo-métrica Final [m]	dh desde última cámara Inicial [m]	dh Atm. N. Final [m]	Velocidad [m/s]	+/- Energía [m]	Atm.	Xi	Yi	Zi	Xf	Yf	Zf
91.720,82	0,01842	0,4	1.910,00	1.909,60	0	5,1		5,5	1,4			3169298,281	7618252,037	1909,9	3169440,736	7618246,537	1904,4
91.720,82	0,01842	0,63	1.909,60	1.908,97	5,1	19,47	5,5	20,5	1,4		False	3169440,736	7618246,537	1904,4	3169587,747	7618231,537	1889,4
91.720,82	0,01842	0,44	1.908,97	1.908,53	19,47	24,23	20,5	25,7	1,4		False	3169587,747	7618231,537	1889,4	3169752,609	7618226,537	1884,2
91.720,82	0,01842	0,24	1.908,53	1.908,29	24,23	23,99	25,7	25,7	1,4		False	3169752,609	7618226,537	1884,2	3169851,761	7618226,537	1884,2
91.720,82	0,01842	0,28	1.908,29	1.908,01	23,99	20,71	25,7	22,7	1,4		False	3169851,761	7618226,537	1884,2	3169957,005	7618229,537	1887,2
91.720,82	0,01842	0,28	1.908,01	1.907,74	20,71	15,64	22,7	17,9	1,4		False	3169957,005	7618229,537	1887,2	3170046,386	7618234,537	1892
91.720,82	0,01842	0,21	1.907,74	1.907,53	15,64	11,43	17,9	13,9	1,4		False	3170046,386	7618234,537	1892	3170111,842	7618238,537	1896
91.720,82	0,01842	0,17	1.907,53	1.907,36	11,43	7,26	13,9	9,9	1,4		False	3170111,842	7618238,537	1896	3170153,436	7618242,537	1900
91.720,82	0,01842	0,18	1.907,36	1.907,18	7,26	4,18	9,9	7	1,4		False	3170153,436	7618242,537	1900	3170213,129	7618245,537	1902,9
91.720,82	0,01842	0,2	1.907,18	1.906,98	4,18	0,01	7	3	1,4		False	3170213,129	7618245,537	1902,9	3170272,355	7618249,537	1906,9

FUENTE: Aquasystems

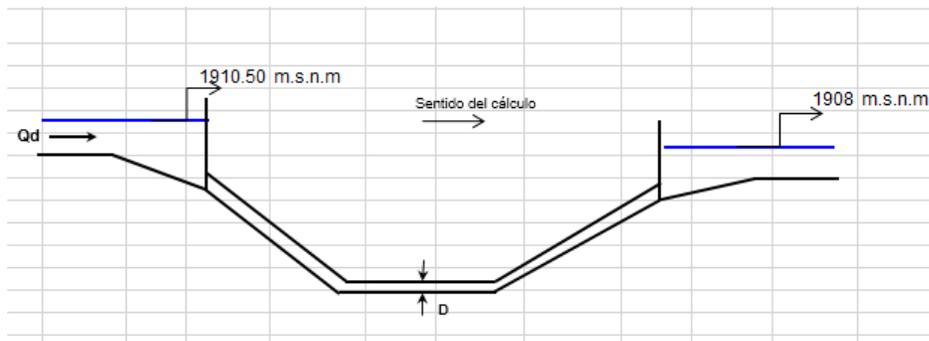
## RIEGO DE JARDINES MIRADOR MOTO MÉNDEZ

### ADUCCIÓN SIFÓN PRINCIPAL (DIÁMETRO CALCULADO)

PROG: 0 a PROG: 123,75 m

#### TRAMO CON TUBERIA

Ilustración 4.6 Esquema de la tubería de aducción (diámetro calculado)



FUENTE: Elaboración propia

#### DATOS PARA EL DISEÑO

$Q_d = 0,00617 \text{ [m}^3/\text{s]}$   
 $L_t = 123,75 \text{ [m]}$   
 $\Delta H = 2,50 \text{ [m]}$   
 $\text{Cot.i} = 1910,50 \text{ [m.s.n.m.]}$       Cota del canal de ingreso  
 $\text{Cot.s} = 1908 \text{ [m.s.n.m.]}$       Cota del canal de salida

#### PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

##### Cálculo de las dimensiones en conductos a presión:

Las velocidades en un conducto se encuentran dentro de un rango de **2 a 3 [m/s]**

Para una sección circular adoptamos una velocidad permisible de **2 [m/s]** y por

continuidad se tiene:

$$A = \frac{Q_d}{V}$$

Entonces:

**Definiendo el diámetro:**

Donde:  $\left\{ \begin{array}{l} V = 1,40 \text{ [m/s]} \\ Q_d = 0,006 \text{ [m}^3/\text{s]} \end{array} \right.$

**A = 0,0044 m<sup>2</sup>**

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad \text{Por lo tanto:} \quad \begin{array}{l} D= 0,0749 \text{ [m]} \\ D= 2,95 \text{ [plg]} \end{array}$$

Asumiendo un diámetro comercial de:

$$D= 3 \text{ [plg]} \quad \quad D= 76,2 \text{ mm}$$

Comprobamos el funcionamiento hidráulico para este diámetro.

Por lo tanto la velocidad y radio hidráulico con el diámetro adoptado será:

$$R = \frac{D}{4} \quad \longrightarrow \quad \begin{array}{l} V= 1,35 \text{ [m/s]} \\ R= 0,019 \text{ [m]} \end{array}$$

### CÁLCULO DE LA CARGA DISPONIBLE:

Cálculo de diferencia de cotas  $\Delta Z$ .

$$\Delta Z = \text{Cot.i} - \text{Cot.s} \quad \text{Entonces:} \quad \Delta Z = 2,50 \text{ [m]}$$

### CÁLCULO DE LA PÉRDIDA DE CARGA

Caudal de diseño: 6,17 l/s  
Caudal de diseño: 0,006 m<sup>3</sup>/s

**Diámetro adoptado:**

Tubo: **PVC C - 9**  
D comercial = 3 plg (ver Anexo 6)  
D comercial = 88,9 mm

### Verificación por Darcy - Weisbash

Qc	Gasto de Conducción	0,0062	m <sup>3</sup> /s
L	Longitud del tramo	123,75	m
D	Diámetro Nominal de la tubería	0,089	m
e	Espesor	0,0037	m
Dc	Diámetro de Cálculo	0,082	m
k	Rugosidad absoluta PRFV	1,50E-06	m
k/D	Rugosidad Relativa	0,0000	Turb. Semi Rugoso
Sc	Sección o área de Cálculo	0,004	m <sup>2</sup>

v	Velocidad	1,35 m/s
n	Viscosidad Cinemática	1,15E-06 m <sup>2</sup> /s
Re	Número de Reynolds	88.278
f	Factor de Fricción de Darcy - Weisbach	<b>0,0185</b>

**Resulta:**

j	Pérdida Unitaria	<b>0,023 m/m</b>
Jc	Pérdida Total por Fricción	<b>2,11 m</b>

**Pérdidas Localizadas:**

Accesorio	Ku	Cantidad	Kt
Entrada	1,00	1	1,00
Salida	1,00	1	1,00
Curva 90°	0,65	0	0,00
Curva 45°	0,45	2	0,90
Curva 30°	0,25	2	0,50
Te Normal	0,35	1	0,35
Te de Lado	0,85	0	0,00
Reducción	0,15	0	0,00
Ampliación	0,65	0	0,00
V.E.	0,18	0	0,00
V.T.C.	0,35	1	0,35
V.R.	1,25	0	0,00
<b>TOTAL, SUMA DE Kt</b>			<b>4,10</b>

$$Jl = 0,38 \text{ m}$$

La pérdida total es:

$$J_{tot} = 2,49 \text{ m}$$

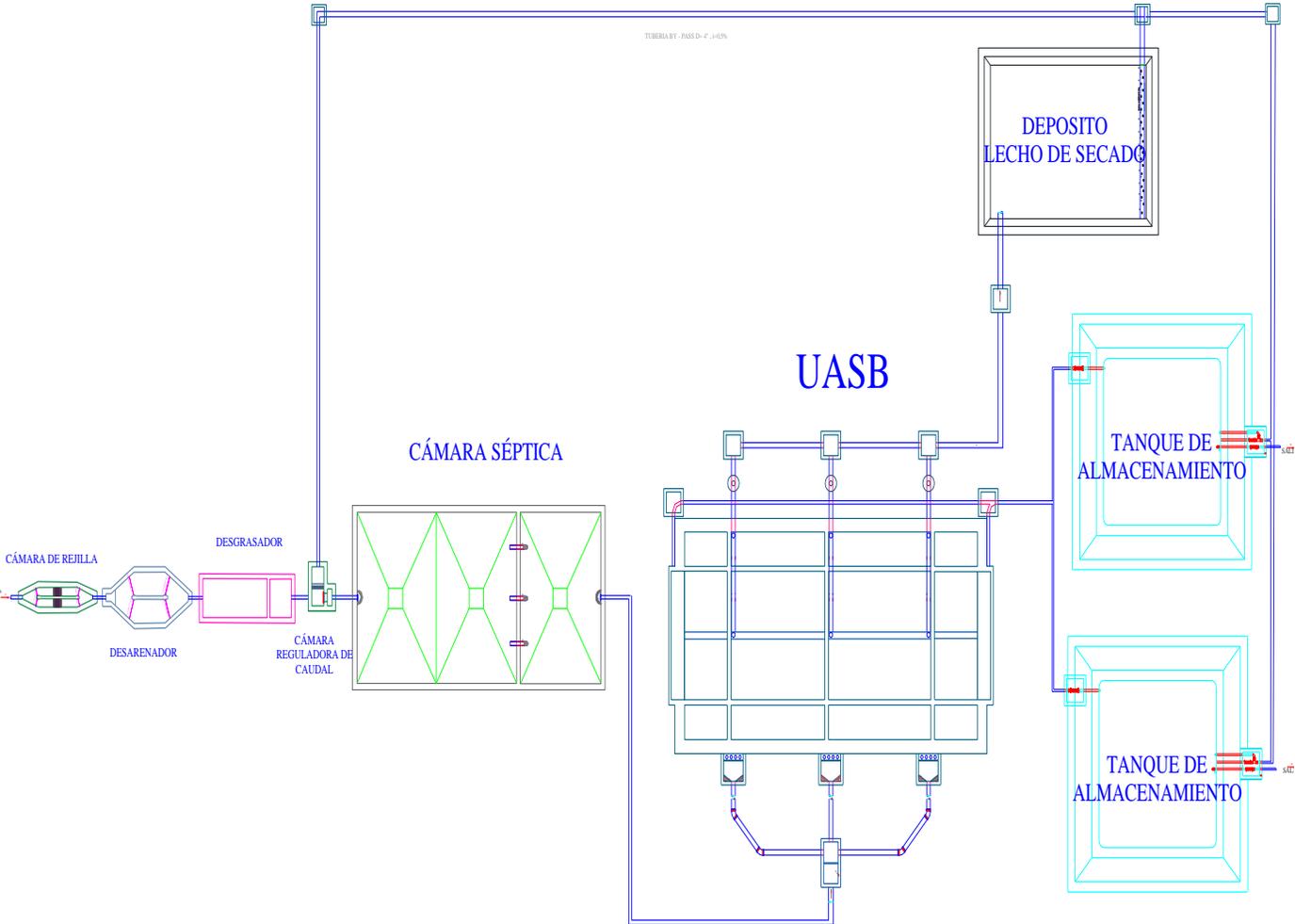
Por lo tanto se tiene:

$$J_{tot} = 2,49 \leq \Delta Z = 2,50 \text{ CUMPLE!}$$

D=	3	[plg]
D=	76	mm
Qd=	0,00617	[m <sup>3</sup> /s]

# 4.5 CROQUIS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

Ilustración 4.7 Croquis de los componentes de la Planta de Tratamiento



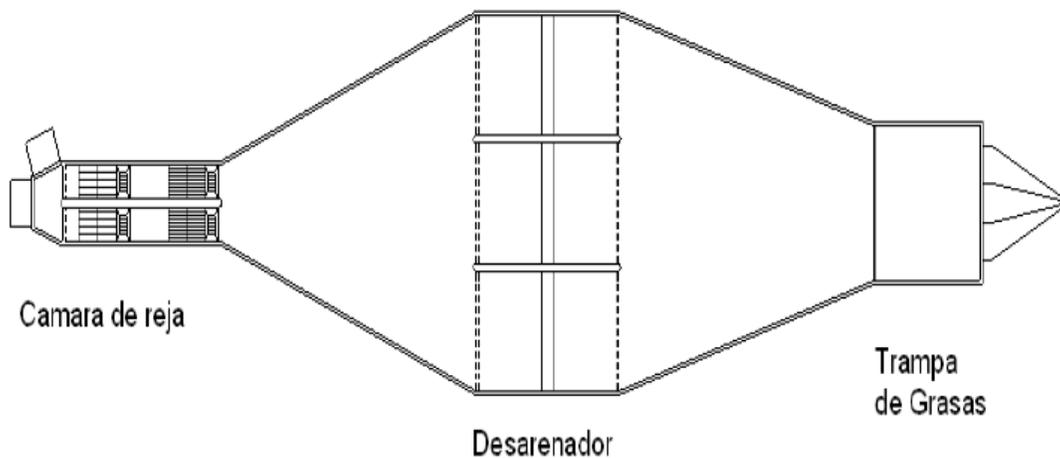
FUENTE: Elaboración propia

## 4.6 PRE-TRATAMIENTO

### 4.6.1 CÁMARA DE REJAS

Para el caso de la Cámara de Rejas, se desea que el sistema de rejillas sea de limpieza manual, para separar los sólidos del afluente mayores de 2,5 cm. Considerar un doble canal de secciones transversales rectangulares en cada canal se instalará rejillas de limpieza manual con una inclinación de  $45^\circ$ , formadas por barras de 0,01 m por 0,0375 m separadas entre sí 0,02 m.

Ilustración 4.8 Vista en planta de un sistema de PRE-TRATAMIENTO



FUENTE: (Canosa, DISEÑO HIDRÁULICO DE TECNOLOGÍAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ;Diseño Hidráulico del Pretratamiento en una Caso Práctico de Estudio I Parte, pág. 12)

Su diseño consta no solamente del dimensionamiento de las rejillas propiamente, sino de los canales correspondientes para garantizar las velocidades requeridas.

### I.1. RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO

Se tomará en cuenta los siguientes criterios de diseño reportados en la tabla 4.8

**Tabla 4.8 Recomendaciones para el Diseño**

• Los espacios entre barras de	<b>2,0 a 3,0 cm</b>
• Velocidad entre rejas para el gasto medio	<b>0,1 a 0,8 m/s</b>
• Velocidad efectiva, debe proyectarse verticalmente a las rejas, con el gasto de proyecto.	
• La plantilla (fondo) del canal debe estar más baja que la de la entrada	<b>8,0 a 15 cm</b>
• Ángulo de inclinación de la reja con la horizontal	<b>30<sup>º</sup> a 60<sup>º</sup></b>
• El canal, antes y después de la reja debe filetearse.	
• Es conveniente construir, como mínimo, dos canales con sus rejas, en paralelo, para facilitar las operaciones	
• La cámara debe tener una longitud suficiente para evitar remolinos cerca de la reja.	
• Las barras se colocan con la longitud de arriba-abajo, sin barras horizontales, que obstaculicen el paso del rastrillo. Deben prolongarse hacia arriba y curvarse.	

FUENTE: (Canosa, DISEÑO HIDRÁULICO DE TECNOLOGÍAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ;Diseño Hidráulico del Pretratamiento en una Caso Práctico de Estudio I Parte, págs. 12-13)

## I.2. RECOMENDACIONES Y DATOS INICIALES PARA EL DISEÑO

Se empleará de barras de acero con sección transversal de las barras del tipo rectangulares con semicírculo delante y atrás, con las siguientes dimensiones:

Cantidad de rejas:	N = 2 canales paralelos
Longitud de las barras:	L = 0,76 m
Separación entre barras:	b = 2 cm
Espesor en la dirección del flujo:	e = 10 mm
Cantidad de material retenido:	C = 0,3 m <sup>3</sup> /d = 0,26 tn/d
Ángulo que forma la reja con la horizontal:	$\alpha = 45^\circ$
Diámetro del conducto tributario:	D = 75 mm

El tamaño que llega a la planta de tratamiento se asumió el del colector de llegada.

Lado menor de las barras de sección rectangular      a= 0,010 m      (de frente)

Lado mayor de las barras de sección rectangular      d= 0,038 m      (de perfil)

**Ilustración 4.9 Imágenes de dos cámaras de rejillas**



*FUENTE: (Canosa, DISEÑO HIDRÁULICO DE TECNOLOGÍAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ;Diseño Hidráulico del Pretratamiento en un Caso Práctico de Estudio I Parte, pág. 14)*

### **I.3. ESTABLECIMIENTO DEL NÚMERO DE LÍNEAS DE TRATAMIENTO**

$$Q = 22,212 \quad \text{m}^3/\text{h} \quad = 6,17 \text{ l/s}$$

Nº de líneas:      1      unidad

$$Q_{\text{máx}} = 0,00617 \text{ m}^3/\text{s}$$

#### I.4. CÁLCULO DEL ÁREA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DEL CONDUCTO TRIBUTARIO (AT)

$$A_t = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

D = 75 mm diámetro del conducto tributario

D = 0,075 m

Q<sub>max</sub> = 0,00617 m<sup>3</sup>/s

Área a tubo lleno:

$$A_t = 0,004 \text{ m}^2$$

$$v = 1,396 \text{ m/s}$$

Entre 0,6 a 5 m/s

$$h_{\text{máx}} = 0,075 \text{ m}$$

#### I.5. ÁREA DE LA CÁMARA DE REJAS (AC)

$$A_c = 3 \cdot A_t$$

$$A_c = 0,013 \text{ m}^2$$

#### I.6. CÁLCULO DE LA LONGITUD SUMERGIDA (LS)

$$L_s = \frac{h_{\text{máx}}}{\text{sen } \alpha}$$

$\alpha = 45^\circ$  (Por criterios de diseño el ángulo de inclinación  $\alpha = 45^\circ$  a  $60^\circ$ )

$$L_s = 0,11 \text{ m}$$

### I.7. CÁLCULO DEL ANCHO DE LA REJA ( WS )

Es la relación entre el área de la cámara (Ac) y la longitud sumergida (Ls)

$$L_s = \frac{A_c}{W_s}$$

$$W_s = 0,17 \text{ m}$$

Adoptamos:  $W_s = 0,25 \text{ m}$  por limpieza

### I.8. CÁLCULO DEL NÚMERO DE BARRAS ( N )

Sea n = Número de barras en la reja de un canal,

n + 1 = Número de espacios en la reja de un canal

- Se debe calcular la cantidad de barras, espacios entre barras
- Se debe comparar y justificar el ancho real de un canal



a: espesor de las barras en la dirección del flujo      10 mm      (frontal)  
 b: ancho de espacios o separación entre barras      20 mm

$$W_s = a \cdot n + b \cdot (n + 1)$$

Resolviendo:

a = 0,010 m      1 cm  
 b = 0,020 m      2 cm  
 W<sub>s</sub> = 0,25 m      Objetivo

Ecuación       $a \cdot n + b \cdot (n + 1) = 0,25$

$$n = 7,60$$

$$n = 8 \text{ barras}$$

$$N^{\circ} \text{ spac} = 9 \text{ espacios}$$

### I.9. ANCHO REAL DEL CANAL

Ancho que ocupa las barras = 0,08 m      ( $a \cdot n$ )  
 Espacio total entre barras = 0,18 m      ( $b \cdot N^{\circ} \text{ espacios}$ )  
 Ancho del canal = 0,26 m

Se adoptará:

$$\text{Ancho real del canal} = 0,25 \text{ m}$$

### I.10. ÁREA NETA SUMERGIDA PARA Q MÁX

Es la relación entre el ancho neto de la cámara y la longitud sumergida

Se conoce que:

$$\text{El ancho neto por canal: } 0,25 \text{ m}$$

$$\text{Ancho neto en la cámara: } 0,5 \text{ m}$$

$$\text{Ans} = L_s \cdot \text{Ancho neto del canal}$$

$$L_s = 0,11 \text{ m}$$

$$\text{Ans} = 0,03 \text{ m}^2$$

### I.11. CÁLCULO DE LAS VELOCIDADES A TRAVÉS DE LAS REJAS

$$V = \frac{Q_{\text{máx}}}{\text{Ans}}$$

$$Q_{\text{máx}} = 0,00617 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Ans} = 0,03 \text{ m}^2$$

$$v = 0,23 \text{ m/s}$$

### I.12. CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES

### I.12.1. ANCHO INTERIOR

Se debe cumplir para dos canales que:

Ancho interior ( $B_1$ ) = Ancho de los 2 canales + muro central

$$\begin{array}{llll} \text{Muro central} = & 0,1 & \text{m} & \text{(Adoptado)} \\ \text{Ancho de los 2 canales} = & 0,5 & & \text{Ancho real del canal *2} \end{array}$$

$$\mathbf{B_1 = 0,60 \quad m}$$

### I.12.2. LONGITUD DE LA PARTE PARALELA (L)

Se debe asumir una velocidad de sedimentación muy alta para evitar que haya sedimentación en la cámara

se asumirá:

$$V_{\text{sed}} = 1,56 \text{ cm/s} = 0,0156 \text{ m/s} \quad (\text{diámetro de partícula } d=0,15 \text{ mm} \\ \text{valor de la tabla de Arkhangelski})$$

Para caudal  $Q_{\text{med}}$ . El área de sedimentación será

$$Q_{\text{máx}} = 0,00617 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\mathbf{A_s = \frac{Q_{\text{med}}}{V_{\text{sed}}}}$$

$$\mathbf{A_s = 0,41 \quad m}$$

$$\mathbf{L = \frac{A_s}{W_s}}$$

$$W_s = 0,25 \text{ m}$$

$$L = 1,64 \text{ m}$$

Adoptamos:

$$L = 1,65 \text{ m}$$

### I.12.3. LONGITUD DE LAS CONTRACCIONES

$$L_1 = \frac{B_1 - B_2}{2 \cdot \tan \lambda}$$

$$\text{Ancho interior: } B_1 = 0,60 \text{ m}$$

$$\text{Diámetro del conducto tributario: } B_2 = 0,10 \text{ m}$$

$$\lambda = 20,8^\circ$$

$$L_1 = 0,69 \text{ m}$$

Adoptamos:

$$L_1 = 0,70 \text{ m}$$

$$L_2 = L_1$$

$$L_2 = 0,70 \text{ m}$$

### I.12.4. CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS DE CARGA EN LA REJA

$$h = k \cdot \beta \cdot \left(\frac{a}{b}\right)^{4/3} \frac{v}{2 \cdot g} \cdot \text{sen } \alpha$$

Donde:

K: Factor que considera atascamiento

K=1 Reja limpia y k= 3 reja al tiempo t de uso

- $\beta$ : Factor en función de la sección transversal de las barras
- a: Espesor en la dirección del flujo de las barras (10 mm)
- b: Separación entre las barras
- V: velocidad en m/s
- $\alpha$ : Ángulo de inclinación de la reja con respecto a la horizontal

Los valores más comunes que adopta el coeficiente ( $\beta$ ) que depende de la sección transversal de las barras, se reporta en la tabla 4.7.

**Tabla 4.9 Valores más comunes que adopta el coeficiente ( $\beta$ )**

Sección transversal de las barras	Valores de $\beta$
Rectangular y afiladas	2,48
Semicirculares aguas arriba	1,83
Circulares	1,79
Rectangulares con semicírculo delante y atrás	1,67
Aerodinámicas	0,76

FUENTE: (Canosa, DISEÑO HIDRÁULICO DE TECNOLOGÍAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ; Tratamiento Mecánico de los Residuales Líquidos III Parte , pág. 15)

- K= 3
- $\beta$  = 2,48
- a= 0.01 m
- b= 0,02 m
- V= 0,08 m/s
- $\alpha$ = 45°

Para reja limpia:

$$K = 1$$

$$h = 0,0019 \text{ m}$$

Para reja al tiempo de uso:

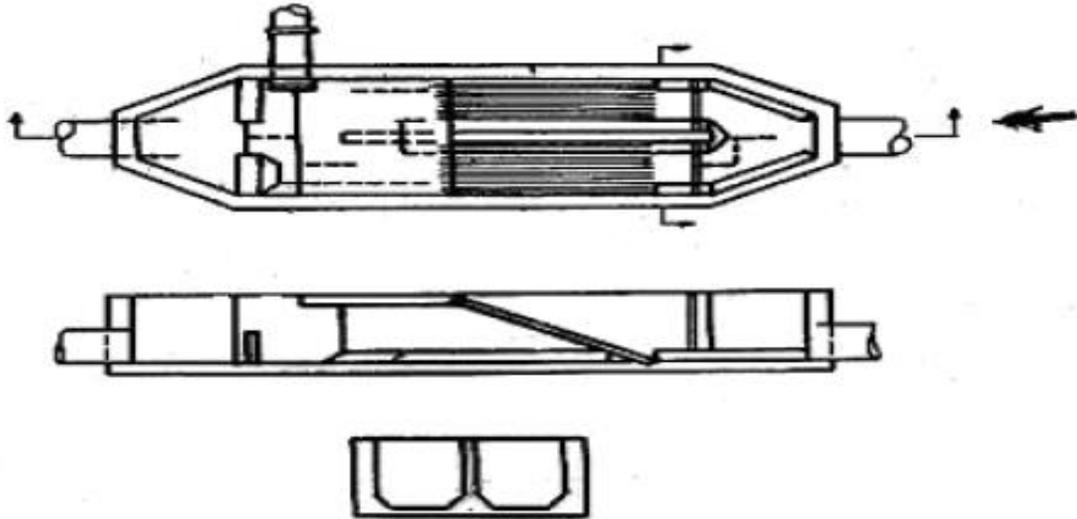
$$K = 3$$

$$h = 0,006 \text{ m}$$

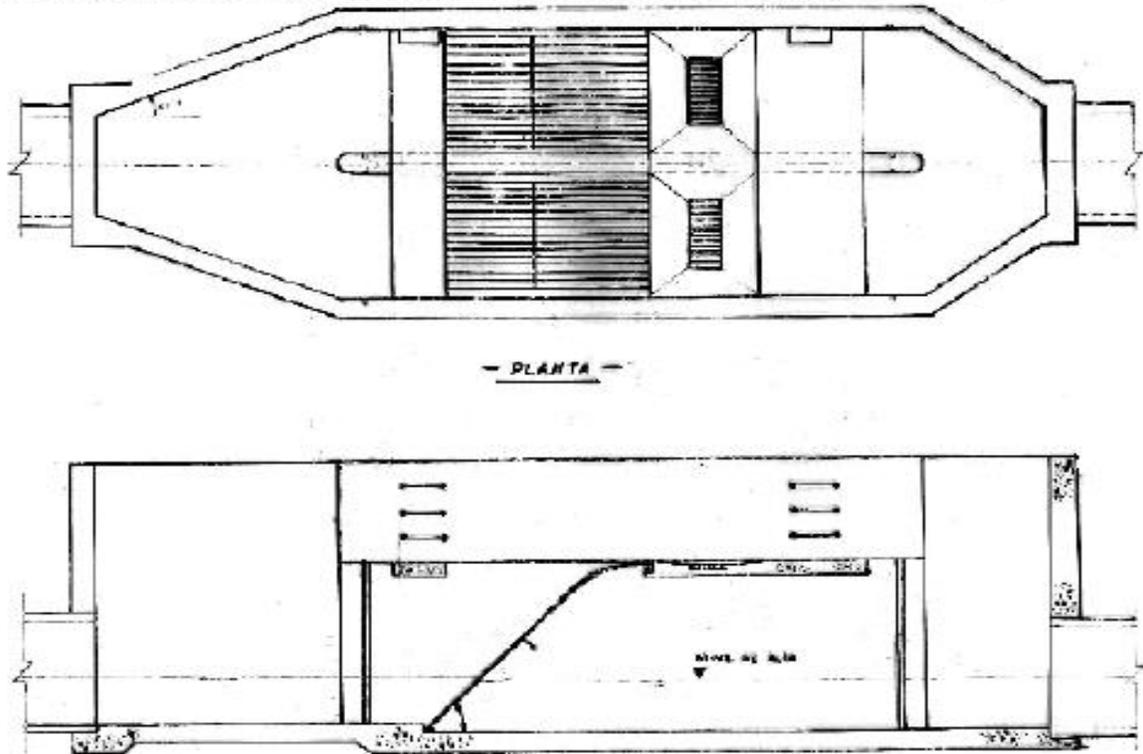
### RESUMEN:

N° de líneas:	1	unid
Largo:	1,65	m
Ancho efectivo:	0,50	m
Muro central:	0,10	m
Ancho total:	0,60	m
Altura hidráulica:	0,15	m
Borde libre	0,20	m
Altura total	0,35	m
Longitud de transición de entrada:	0,70	m
Longitud de transición de salida:	0,70	m

Ilustración 4.10 Cámara de rejas: planta, cortes longitudinal y transversal



CAMARA DE REJAS: (Planta, Cortes longitudinal y Transversal.)



FUENTE: (Canosa, DISEÑO HIDRÁULICO DE TECNOLOGÍAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ; Tratamiento Mecánico de los Residuales Líquidos III Parte , pág. 25)

#### 4.6.2 CÁMARA DESARENADORA

El proceso de sedimentación puede reducir de un 20 a un 40% la DBO5 y de un 40 a un 60% los sólidos en suspensión.

Se diseñará un desarenador rectangular de flujo horizontal.

**Ilustración 4.11** Imagen de un desarenador de una planta de tratamiento de re uso de aguas residuales



*FUENTE: (Canosa, pág. 3)*

## II.1. INFORMACIÓN PRELIMINAR

La mayoría de los desarenadores se construyen en forma de canales alargados y de poca profundidad, que retengan partículas con un peso específico de 2,65 y diámetro de  $2 \times 10^{-3}$  cm.

**Tabla 4.10 Criterio de Diseño de desarenadores**

Tiempo de retención	
Máximo	60 s
Promedio	30 s
Velocidad del flujo	0,30 m/s
Peso específico ( $\gamma$ )	2,5 – 2,65

FUENTE: Dr. Eduardo Márquez Canosa, Curso II "Diseño Hidráulico de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales"

\* 2,5-2,65 g/cm<sup>3</sup>

- Peso específico de las partículas de arena:  $\sigma = 2,6 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$
- Diámetro de las partículas: 0.10 mm  $d = 0.00010 \text{ m}$
- Tiempo de retención máximo:  $t_{\text{rm}} = 60 \text{ s}$
- Tiempo de retención promedio:  $t_{\text{pr}} = 30 \text{ s}$
- Velocidad de flujo:  $V_f = 0,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

## II.2. DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN DE LAS PARTÍCULAS DE ARENA

Se conoce que para partículas de arena con ese peso específico y diámetro, la velocidad de sedimentación será:

$$V_s = 0,692 \text{ cm/s}$$

$$V_s = 0,0692 \text{ m/s}$$

## II.3. CÁLCULO DEL VOLÚMEN DEL DESARENADOR

$$\text{Vol} = \text{Qmáx} \cdot t_{\text{rm}}$$

$$\begin{array}{l} \text{Q diseño} = \quad 22,21 \quad \text{m}^3/\text{h} \quad \quad 0,00617 \quad \text{m}^3/\text{s} \\ \text{N}^\circ \text{ de desarenadores:} \quad 1 \quad \text{unidades} \end{array}$$

$$\text{Qmáx} = \quad 22,21 \quad \text{m}^3/\text{h} \quad \quad 0,00617 \quad \text{m}^3/\text{s}$$

$$\text{Vol} = 0,00617 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 60 \text{ s}$$

$$\text{Vol} = 0,370 \text{ m}^3$$

#### II.4. CÁLCULO DEL ÁREA SUPERFICIAL

$$\text{As} = \frac{\text{Qmáx}}{\text{Vs}}$$

$$\begin{array}{l} \text{Qmáx} = \quad 22,21 \quad \text{m}^3/\text{h} \quad \quad 0,00617 \quad \text{m}^3/\text{s} \\ \text{Vs} = \quad 0,00692 \quad \text{m/s} \end{array}$$

$$\text{As} = 0,89 \text{ m}^2$$

#### II.5. CÁLCULO DE LA ALTURA DE AGUA

$$h = \frac{\text{V}}{\text{As}}$$

$$\text{Vol} = \quad 0,370 \quad \text{m}^3$$

$$\text{As} = \quad 0,89 \quad \text{m}^2$$

$$h = 0,42 \text{ m}$$

Borde  
libre:

$$Bl = 0,18 \text{ m}$$

Altura total del muro:

$$H = 0,60 \text{ m}$$

## II.6. CÁLCULO DEL ANCHO

Se debe definir o determinar El número de canales ( $n_c$ ) y el ancho de cada canal ( $W_c$ ).

$$n_c = 2 \text{ canales}$$

$$W = \frac{At}{h}$$

At: Área de la sección transversal

$$At = \frac{Q}{Vd}$$

### VD: VELOCIDAD DE DESPLAZAMIENTO

La velocidad de desplazamiento es la velocidad que inicia el arrastre de las partículas depositadas en un canal, se puede expresar según la siguiente expresión planteada por diferentes autores.

$$Vd = \left[ \left( \frac{8 \cdot K}{f} \right) \cdot g \cdot (\sigma - 1) \cdot d \right]^{1/2}$$

Donde:

**K:** coeficiente que depende del tipo de material arrastrado:

Arena –  $K = 0,04$

Material pegajoso –  $K = 0,06$  o mayor

**f:** factor de fricción que depende de las características de la superficie sobre la cual tiene lugar la sedimentación, del flujo y el Reynolds.

Se ha adoptado  $f =$

$f = 0.03$

$\sigma = 2,6 \text{ gr/cm}^3$   
 $d = 0,00010 \text{ m}$   
 $Q = 0,00617 \text{ m}^3/\text{s} \quad 6,17 \text{ l/s}$   
 $K = 0,04$   
 $f = 0,03$

vel. de desplazamiento:

**$Vd = 0,52 \text{ m/s}$**

Área sección transversal:

**$At = 0,012 \text{ m}^2$**

ancho :

$W = 0,686 \text{ m}$

Adoptamos:

**$W = 0,70 \text{ m}$**

## II.7. CÁLCULO DE LA LONGITUD

$$L = \frac{As}{W}$$

**$As = 0,89 \text{ m}^2$**

**$W = 0,70 \text{ m}$**

**$L = 1,27 \text{ m}$**

Adoptamos:

$$L = 1,30 \text{ m}$$

## II.8. CÁLCULO DE LAS PARTES NO PARALELAS

$$\varphi = 12,5^\circ \quad \text{ángulo de inclinación de paredes (L}_1\text{)}$$

$$\varphi = 12,5^\circ \quad \text{ángulo de inclinación de paredes (L}_2\text{)}$$

$$L_1 = L_2 \quad \text{longitud de transición}$$

$$L_1 = \frac{B_1 - B_2}{2 \cdot \tan \varphi}$$

$B_1$ :  $2 \cdot W$  + ancho del muro central (se puede asumir 10 cm)

$$B_1 = 1,50 \text{ m}$$

$B_2$ : ancho del canal de aproximación

$$B_2 = 1,00 \text{ m}$$

Adoptamos:

$$L_1 = 1,13 \text{ m}$$
$$L_1 = 1,15 \text{ m} \quad \text{entrada}$$

Adoptamos:

$$L_2 = 1,13 \text{ m}$$
$$L_2 = 1,15 \text{ m} \quad \text{salida}$$

### RESUMEN:

Número de líneas de tratamiento	Nº	1	unid
Largo:	L =	1,30	m
Ancho efectivo:	w =	0,70	m
Muro central:	mc =	0,10	m
Ancho total:	B <sub>1</sub> =	1,50	m
Altura:	H =	0,50	m
Longitud de transición de entrada:	L <sub>1</sub> =	1,15	m

Longitud de transición de salida: L2 = 1,15 m

#### 4.6.3 DESGRASADOR

Ilustración 4.12 Imagen de un desgrasador en planta de tratamiento.



FUENTE: (Canosa, pág. 6)

Por regla general, consiste en un tanque rectangular con flujo horizontal. Como la grasa tiene un peso específico menor que el agua, subirá a la superficie, por ello, es necesario prever que la salida esté por debajo de la superficie.

#### III.1. INFORMACIÓN PRELIMINAR

- Tiempo de retención (tr) 0,5 – 10 minutos  $tr = 10 \text{ min}$
- Altura (h) metros Entre 1,2-3 m  $h = 1,2 \text{ m}$

#### III.2. CÁLCULO DEL VOLUMEN

$$Vd = Q \cdot tr$$

$$Q = 0,0062 \text{ m}^3/\text{s}$$

Nº de desg= 1 unid

Q dis = 0,0062 m<sup>3</sup>/s

tr = 600 s

$$Vd = 3,70 \text{ m}^3$$

### III.3. CÁLCULO DEL ÁREA SUPERFICIAL

$$As = \frac{Vd}{h}$$

$$As = 3,08 \text{ m}^2 \text{ mínima}$$

Adoptamos

$$As = 3,10 \text{ m}^2$$

### III.4. CÁLCULO DEL ANCHO DEL FONDO

$$b = 2 \cdot h$$

$$b = 1,15 \text{ m}^2$$

### III.5. CÁLCULO DE LA LONGITUD

$$L = \frac{As}{b}$$

$$L = 2,69 \text{ m}$$

Adoptamos

$$L = 2,70 \text{ m}$$

### III.6. CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE ASCENSO DEL AGUA

$$V_a = \frac{Q}{b \cdot L} \quad \therefore \quad b \cdot L = \frac{Q}{V_a}$$

$$A_s = b \cdot L = 3,10 \text{ m}^2 \quad (\text{Ec 1})$$

$$V_a = 0,0020 \text{ m/s}$$

Comprobar el área necesaria para la flotación de las grasas con esas características.

Si el área requerida es demasiado grande se deberá usar aire, o modificar el rango de valores asumidos inicialmente en algunas variables.

Aplicando ley de Stokes (determinar la velocidad de sedimentación de la partícula, se obtendrá valores negativos para las propiedades de este tipo de partículas, las grasas).

$$V_a = \frac{g}{18} \cdot \left( \frac{\sigma - 1}{\mu} \right) \cdot d^2$$

Se aplica si  $Nr < 1$

Datos:

$$\text{Temp} = 12 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\sigma = 0,8 \text{ gr/cm}^3 \quad (\text{densidad relativa de las grasas})$$

$$\mu = 1,01\text{E-}06 \text{ m}^2/\text{s} \quad 0,0101 \text{ cm}^2/\text{s} \quad \text{viscosidad}$$

$$d = 4,5\text{E-}03 \text{ cm} \quad 0,000045 \text{ m} \quad \text{diámetro medio de las grasas}$$

$$Q = 0,0062 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_a = -0.0219 \quad \text{m/s}$$

$$V_a = 0.0219 \quad \text{m/s}$$

$$b \cdot L = \frac{Q}{V_a}$$

$$A_s = b \cdot L = 0,282 \quad \text{m}^2 < 1,60 \text{ Cumple!!}$$

### III.7. NÚMERO DEL REYNOLDS NR

$$N_R = \frac{V_a \cdot d^2}{\mu}$$

$$N_R = 0,974 < 1 \quad \text{Cumple !!}$$

**Régimen Laminar**

### RESUMEN:

Nº de unidades =	1,00	unid
Altura h =	1,20	m
Ancho del fondo b =	1,15	m <sup>2</sup>
Largo L =	2,70	m

## 4.7 TRATAMIENTO PRIMARIO

### 4.7.1 CÁMARA SÉPTICA

#### DATOS:

$$Q_m = 6,17 \quad \text{l/s}$$

$$DBO_5 = 256,00 \quad \text{mg/l}$$

#### Población equivalente

$$\text{Población Equivalente (hab)} = \frac{DBO_5 \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}}\right) \cdot Q_m \left(\frac{\text{m}^3}{\text{d}}\right)}{60 \left(\text{gr} \frac{DBO_5}{\text{dia} \cdot \text{hab}}\right)}$$

Donde:

$$DBO_5 = 256,00 \quad \text{mg/l} \quad \text{Valor promedio}$$

$$Q_m = 533 \quad \text{m}^3/\text{d} \quad \text{Para 20 años}$$

$$\begin{aligned} \text{N}^\circ \text{ de} \\ \text{unid} = & 1 \quad \text{unidades} \end{aligned}$$

$$Q_m = 533 \quad \text{m}^3/\text{d}$$

$$\text{Pob. Eq.} = 2275 \quad \text{hab}$$

$$\text{Población Equivalente} \quad P = 2275 \quad \text{hab}$$

$$\text{Aporte Anual De Espuma Por Habitante} \quad SE = 20 \quad \text{L}/(\text{año} \cdot \text{hab})$$

$$\begin{aligned} \text{Período Entre Dos Limpiezas} \\ \text{Consecutivas} \quad t_l = 0,50 \quad \text{años} \end{aligned}$$

Temperatura Media Del Mes más Frío  $T^{\circ} = 12,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$

### CAUDAL

$$Q_m = 533.088,00 \text{ l/d}$$

### ANCHO DE LA CÁMARA

$$B = 5,00 \text{ m}$$

### LARGO DE LA CÁMARA

Relación  $L/B = 2$

$$L = 10,00 \text{ m}$$

### ÁREA DE LA BASE LONGITUDINAL

$$A = L \cdot B$$

$$A = 50,00 \text{ m}^2$$

### ALTURA DE LA ZONA DE GASES

$$h_g = 0,20 \text{ m}$$

### VOLUMEN DE LA ZONA DE GASES

$$Vg = A \cdot hg$$

$$Vg = 10,00 \text{ m}^3$$

#### VOLUMEN DE LA ZONA DE ESPUMAS

$$VE = P \cdot SE \cdot tl$$

$$VE = 22.745,09 \text{ L}$$

$$VE = 22,75 \text{ m}^3$$

#### ALTURA DE LA ZONA DE ESPUMAS

$$hE = \frac{VE}{A}$$

$$hE = 0,45 \text{ m}$$

#### ALTURA DE LA ZONA NEUTRA SUPERIOR

$$hNS = 0,10 \text{ m}$$

#### VOLUMEN DE LA ZONA NEUTRA SUPERIOR

$$VNS = hNS \cdot A$$

$$VNS = 5,00 \text{ m}^3$$

## **VOLUMEN DE LA ZONA DE SEDIMENTACION**

$$Q_m = 533.088,00 \quad \text{l/d}$$

Tiempo De Permanencia Hidráulica  $t_{Ph} = 6 \text{ h}$

$$VS = Q_m \cdot t_{Ph} \text{ (días)}$$

$$VS = 133.272,00 \text{ L}$$

$$VS = 133,27 \text{ m}^3$$

## **ALTURA DE LA ZONA DE SEDIMENTACIÓN**

$$h_S = \frac{VS}{A}$$

$$h_S = 2,67 \text{ m}$$

## **ALTURA DE LA ZONA NEUTRA INFERIOR**

$$h_{NI} = 0,10 \text{ m}$$

## **VOLUMEN DE LA ZONA NEUTRA INFERIOR**

$$\mathbf{VNI = hNI \cdot A}$$

$$\mathbf{VNI = 5,00 \text{ m}^3}$$

### **VOLUMEN DE LA ZONA DE DIGESTIÓN ANAERÓBICA:**

Temperatura Media Del Mes más Frío  $T^{\circ} = 12,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$   
Tiempo De Permanencia Para Digestión tpd = 40 días DE TABLA 3.3

Aporte De Barro Fresco Bf =

Habitantes permanentes Bf = 0,80 L/(hab · d)

Bf = 0,80 L/(hab · d)

COEFIC. DE REDUCCIÓN P/ PROCESO DE DIGESTIÓN R1 = 0,5

$$\mathbf{VDA_1 = \frac{P \cdot \text{Coeficiente de reducción P}}{\text{proceso de digestión} \cdot \text{tpd} \cdot \text{Bf}}}$$

$$\mathbf{VDA_1 = 36.392,14 \text{ L}}$$

$$\mathbf{VDA_1 = 36,39 \text{ m}^3}$$

### **ALTURA DE LA ZONA DE DIGESTIÓN ANAERÓBICA:**

$$hDA_1 = \frac{VDA}{A}$$

$$hDA_1 = 0,73 \text{ m}$$

### **VOLUMEN DE LA ZONA DE ALMACENAJE DE BARROS DIGERIDOS:**

Período De Almacenamiento De Barros Digeridos tpa = 182,50 días

Aporte De Barro Fresco Bf = 0,40 L/(hab· d) DE TABLA 3.3

COEFIC. DE REDUCCIÓN P/ BARROS DIGERIDOS R2 = 0,25

$$VDA_2 = \frac{P \cdot tpa \cdot Bf \cdot \text{COEFIC. DE REDUCCIÓN P}}{\text{BARROS DIGERIDOS R2}}$$

$$VDA_2 = 41.509,79 \text{ L}$$

$$VDA_2 = 41,51 \text{ m}^3$$

### **ALTURA DE LA ZONA DE ALMACENAJE DE BARROS DIGERIDOS**

$$hDA_2 = \frac{VDA}{A}$$

$$hDA_2 = 0,83 \text{ m}$$

**VOLUMEN TOTAL:**

$$V_t = V_g + V_E + V_{NS} + V_S + V_{NI} + V_{DA1} + V_{DA2}$$

$$V_t = 253,92 \text{ m}^3$$

**ALTURA TOTAL:**

$$h_t = h_g + h_E + h_{NS} + h_S + h_{NI} + h_{DA1} + h_{DA2}$$

$$h_t = 5,08 \text{ m}$$

**VOLUMEN ÚTIL:**

$$V_u = V_t - V_g$$

$$V_u = 243,92 \text{ m}^3$$

**ALTURA ÚTIL:**

$$h_u = h_t - h_g - 0,3$$

$$h_u = 4,58 \text{ m}$$

**DIMENSIONES FINALES**

ANCHO	<b>B =</b>	<b>5,00</b>	<b>m</b>
LARGO	<b>L =</b>	<b>10,00</b>	<b>m</b>
ALTURA TOTAL	<b>h<sub>t</sub> =</b>	<b>5,10</b>	<b>m</b>

ALTURA UTIL  $h_u = 4,60$  m

## VERIFICACIONES:

### ANCHO MÍNIMO:

5,00 m  $\geq$  0,9 m CUMPLE!

### ALTURA MÁXIMA:

4,60 m  $\leq$  10,2 m CUMPLE!

### ALTURA MÍNIMA:

4,60 m  $\geq$  1,2 m CUMPLE!

### RELACIÓN ANCHO - ALTURA ÚTIL

5,00 m  $\leq$  9,2 m CUMPLE!

Eficiencia: 55%

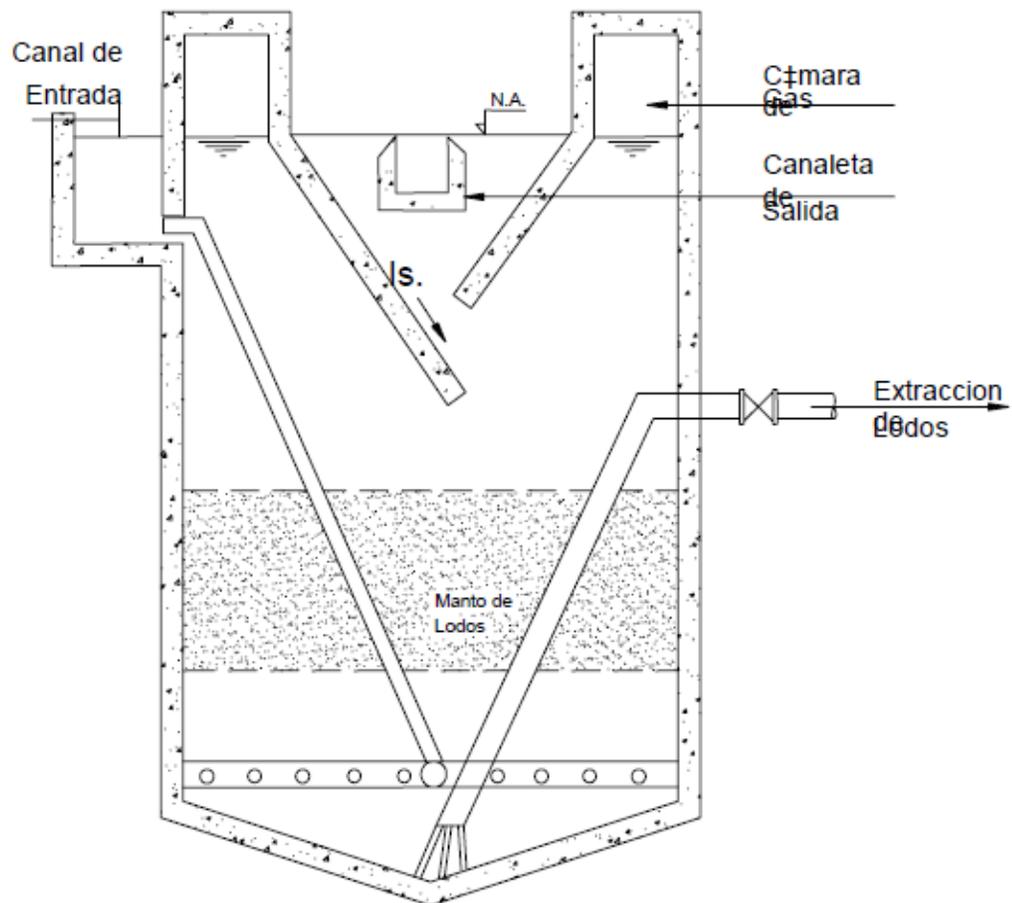
DBO<sub>5</sub> de entrada 256 gDBO<sub>5</sub>/Hab·d

DBO<sub>5</sub> de salida = 115,2 gDBO<sub>5</sub>/Hab·d

## 4.8 TRATAMIENTO SECUNDARIO

### 4.8.1 REACTOR ANAEREÓBICO DE FLUJO ASCENDENTE (UASB)

Ilustración 4.13 Esquema de un Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RALF)



## **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.**

El proceso de fermentación es favorecido a 36 ° C, en la faja mesofílica que aumenta el rendimiento del proceso. El proceso anaerobio queda prácticamente paralizado por debajo de los 10° C, por lo que los digestores son más eficientes en los climas tropicales.

Las principales condiciones favorables que se dan en estos reactores son:

- El sistema no exige ningún equipamiento mecánico o eléctrico, es suficiente que el agua residual a ser tratada, sea encaminada al tanque digestor.
- No ocurren problemas operacionales, consecuentemente, no son necesarios especialistas para operar digestor. Su operación es simple, similar a un tanque séptico
- El volumen del tanque y consecuentemente el área necesaria para la instalación, son extremadamente reducidos; por lo que los costos de instalación son pequeños.
- El tiempo necesario para el tratamiento de residuos en el RAFA es de 4 a 8 horas para un rango de temperaturas entre 35° a 12° C,
- La calidad del efluente tratado, es casi tan buena como en los procesos de aeración o lagunas.
- El proceso anaerobio genera un importante sub producto, el biogás con concentraciones de metano del 80% y poder calorífico de 100 Kcal/(hab·d). En un digestor de flujo ascendente el gas equivalente de 10 habitantes, es suficiente para atender las necesidades de cocción de un habitante.

## **V.1.- PARÁMETROS DE DISEÑO**

Población Equivalente	2275 hab		
Dotación de agua potable D1	180 l/hab·d	(dato proporcionado por COSAALT)	
Coefficiente de retorno C =	0,8		
Flujo de agua residual D <sub>2</sub> =	146 l/hab·d		
Temperatura media =	17,8 °C	(Est. Aeropuerto Ciudad de Tarija)	
Q Med = 6,17 l/s	533 m <sup>3</sup> /d	533.088 L/d	
DBO = 115,2 mg/L DBO	0,115 g/L DBO		de entrada al UASB
SST = 135,0 mg/L SST	0,135 g/L SST		de entrada al UASB
DQO = 111,5 mg/L DQO	0,112 g/L DQO		de entrada al UASB

### RENDIMIENTOS ESTABLECIDOS:

eliminación DBO<sub>5</sub> 80%

eliminación SS 60%

eliminación DQO 65%

DBO = 23,04 mg/L DBO		de salida del UASB
SST = 54,00 mg/L SST		de salida del UASB
DQO = 39,03 mg/L DQO		de salida del UASB

Nº de Unidades:	1 unid	
Población equiv. por unidad:	2275 hab	
Caudal por unidad	6,17 l/s	533.088 L/d



FUENTE: Lettinga y colaboradores

### CARGA HIDRÁULICA MÁXIMA

Con relación al área de aplicación superficial húmeda en el sedimentador, para un RAFA puede estar establecida en 3 m/h o ( $m^3/m^2 \cdot h$ ) promedio a lo largo del día. Temporalmente por unas pocas horas del día pueden ser toleradas velocidades superficiales hasta 6 m/h. en caso que el reactor contenga lodo granular.

$$\text{Carga hidráulica máxima} = 3 \quad m^3/m^2 \cdot \text{día} \quad (\text{Volumétrica})$$

### TIEMPO DE RETENCIÓN

La velocidad con que el proceso ocurre es de importancia fundamental, pues de este depende el volumen de los reactores para tratar una determinada cantidad de residuo. El tiempo de retención es el parámetro que normalmente se utiliza para expresar la velocidad del proceso.

Tabla 4.12 Tiempo de retención en bio digestores RAFA

	TEMPERATURA DEL AGUA ° C	TIEMPO RETENCIÓN (h)	EFICIENCIA % DQO	FUENTE
Doméstico	13 – 15	17	55 – 85	Lettinga
	20 – 23	12	40 – 75	Lettinga
	23 – 26	8	40 – 70	Gomez
	> a 26	6	70 – 80	Rodríguez

$$\text{Volumen de reactor} = Q \times Tr.$$

FUENTE: Lettinga y colaboradores

Temp. = 17,8 °C

tr = 14,20 h

### ALTURA MÍNIMA DE LODO

Hmin lodo = 1,5 m Valor recomendado en base a observaciones

### VELOCIDAD ASCENSIONAL

Velocidad ascensional máxima = 1 m/h

Velocidad ascensional mínima = 0,25 m/h

Velocidad ascensional de diseño = 0,33 m/h

Rodríguez sugiere una velocidad máxima de ascensión de 2,0 [m/h].

Igualmente la velocidad (carga superficial) entre las aperturas de los colectores de gas no debe exceder 2 a 3 m/h. para sistemas que operan con lodo fluido.

### NÚMERO DE ORIFICIOS EN LA PARTE INFERIOR = 1 UNIDAD POR 2 A 6 M<sup>2</sup>

Dif/m<sup>2</sup> = 0,17 unid/m<sup>2</sup> 6 m<sup>2</sup>/unid

### DECANTADOR INTERNO

Tiempo de retención máxima = 1 h

Taza de aplicación superficial = 20 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>·d

Caudal específico en el vertedero = (0,3 a 0,5 l/s·m) 0,5 l/s·m

### V.3.- DIMENSIONAMIENTO REACTOR ANAEROBIO

#### VOLUMEN

$$V = Q \cdot tr$$

$$Q = 533,09 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$tr = 0,59 \text{ d}$$

$$V = 315,41 \text{ m}^3$$

#### ÁREA

$$A = \frac{Q}{V_{asc}}$$

$$Q = 22,21 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V_{asc} = 0,33 \text{ m/h}$$

$$A = 67,31 \text{ m}^2$$

#### DIMENSIONES DEL REACTOR

$$L/B = 2$$

$$B = 6,00 \text{ m}$$

$$L = 12,00 \text{ m}$$

Área real

$$A = 72,00 \text{ m}^2$$

## ALTURA H

$$H = \frac{V}{A}$$

$$H = 4,38 \text{ m}$$

$$\text{Borde Libre} = 0,52 \text{ m}$$

$$\text{Altura total: } H = 4,90 \text{ m}$$

## NÚMERO DE DIFUSORES

$$\text{N}^\circ \text{ de difusores} = \frac{A}{1 \frac{\text{unidad}}{\text{por m}^2}}$$

$$A = 72,00 \text{ m}^2$$

$$\text{Dif/m}^2 = 6 \text{ m}^2/\text{unid}$$

$$\text{N}^\circ \text{ de difusores} = 12 \text{ unidades}$$

## CARGA ORGÁNICA VOLUMÉTRICA

$$\text{DQO} = 366,74 \text{ Kg. DQO/d}$$

$$V = 315,41 \text{ m}^3$$

$$\text{C.o.V.} = 1,16 \text{ Kg. DQO/m}^3 \cdot \text{d} < 5 \text{ Cumple!}$$

## CARGA HIDRÁULICA

$$\text{Ch} = \frac{Q}{V}$$

$$Q = 533,09 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$V = 315,41 \text{ m}^3$$

$$\text{Ch} = 1,69 \text{ m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{d} < 3 \text{ Cumple!}$$

#### V.4.- DECANTADOR INTERNO

$$AD = \frac{Q}{\text{Tasa}}$$

$$Q = 533,09 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$\text{Tasa de aplicación superficial} = 20 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$$

$$AD = 26,65 \text{ m}^2$$

$$L = 12 \text{ m} \quad \text{Largo del reactor}$$

$$W_s = \frac{AD}{L}$$

$$W_s = 2,22 \text{ m}$$

#### ANCHO DE LA ABERTURA

El área total mínima requerida para las aberturas es entonces:

$$A_a = \frac{Q \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)}{\text{Velocidad de flujo} \left(\frac{\text{m}}{\text{h}}\right)}$$

$$Q = 22,21 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V = 4,00 \text{ m/h}$$

La máxima velocidad del flujo permitida en la abertura es de 4m/h para el flujo promedio y 6m/h. para flujo máximo.

$$A_a = 5,55 \text{ m}^2$$

Siendo el ancho de la abertura

$$W_a = \frac{A}{L \text{ abertura}}$$

$$L = 12 \text{ m}$$

$$W_a = 0,46 \text{ m}$$

### **TRASLAPE VERTICAL DEL DEFLECTOR**

El traslape entre los deflectores y los lados de la campana debe ser como mínimo 0,1 m

$$\text{Traslape} = 0,1 \text{ m}$$

### **ALTURA DE LA CAMPANA**

La altura de la campana entre la abertura y la superficie de agua debe ser de 1,0 m a 1,5 m.

$$H_s = 1 \text{ m}$$

### **ANCHO DE LOS LADOS**

$$W_g = \frac{H_g}{\tan \alpha}$$

$$\alpha = 50^\circ$$

$$\frac{1}{2} W_g = \frac{H_s}{\tan \alpha}$$

$$W_g = 1,68 \text{ m}$$

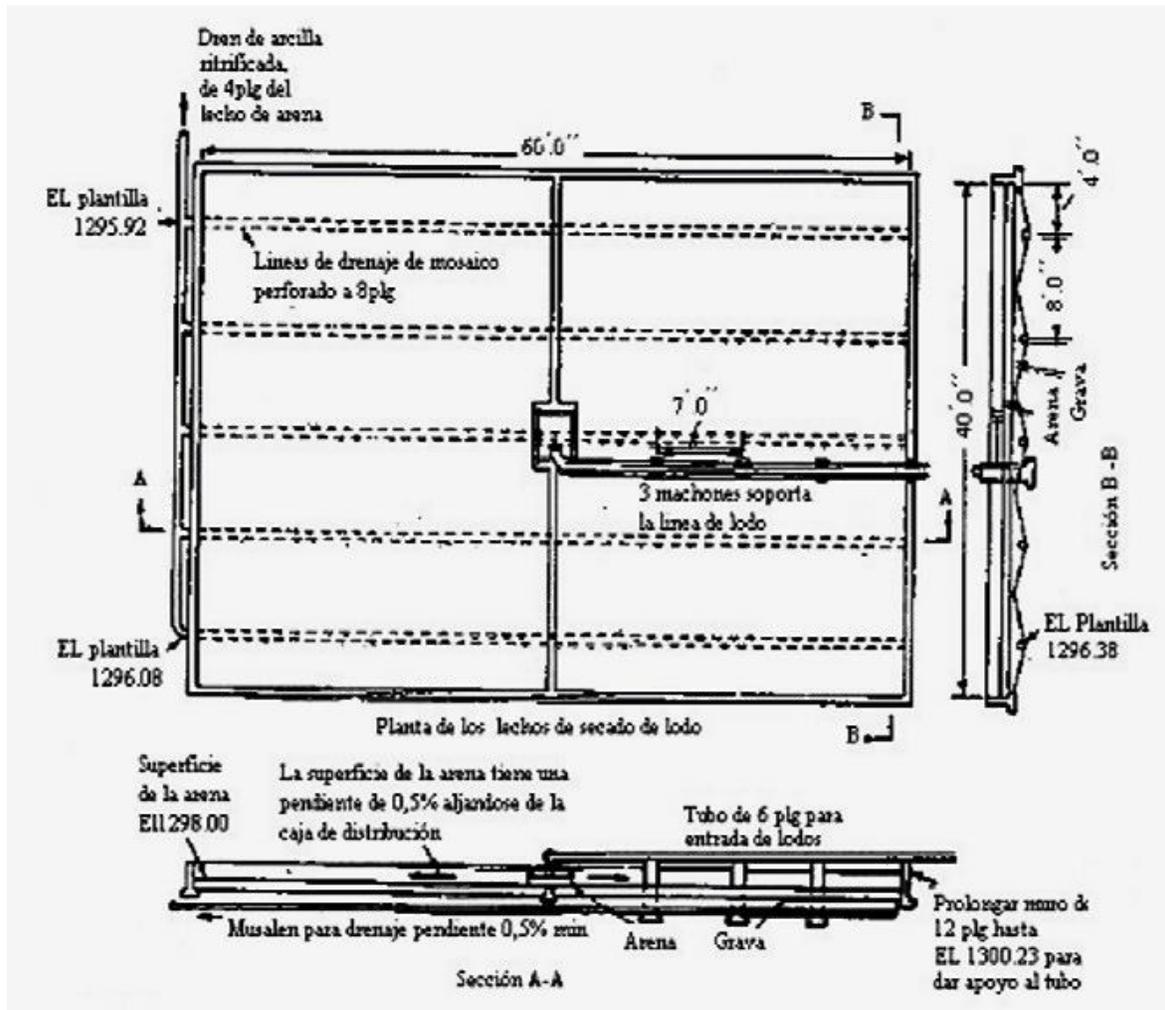
## RESULTADOS

Número de unidades:	1
Volumen de cada unidad:	315,41 m <sup>3</sup>
Área de cada unidad:	72,00 m <sup>2</sup>
Ancho de cada unidad:	6,00 m
Largo de cada unidad:	12,00 m
Altura de cada unidad:	4,90 m

## 4.8.2 LECHOS DE SECADO DE LODOS

El secado puede definirse como la reducción del agua contenida en los sólidos o materiales semejantes

Ilustración 4.14 Esquema de una lecho de secado



## VI.1. CRITERIOS DE DISEÑO:

Bajo condiciones climáticas favorables, los lodos bien digeridos extendidos a una profundidad de 20 a 30 cm, se secan (evaporación y percolación) en 10 o 14 días y hay problemas de olor.

Los lechos de secado generalmente consisten en capas graduadas de grava o piedra triturada bajo una capa de 10 a 15 cm de arena para filtros. Unos tubos de barro o material plástico tendidos con juntas abiertas, sirven de sub drenes.

- Plantas pequeñas (extracción manual) generalmente ancho: 6,0 m, largo menor de 30,0 m
- Plantas grandes (extracción mecánica) las dimensiones pueden variar considerablemente, dependiendo del vehículo utilizado para la extracción del fango seco.

Las líneas de conducción de lodo hacia los lechos deberán ser diseñadas para una velocidad de circulación de 0,75 m/s o mayor.

$$v = 0,75 \text{ m/s} \quad (\text{mínimo})$$

El contenido de humedad es aproximadamente de 60%, después de 10 o 15 días en condiciones favorables.

$$\begin{array}{l} \text{Hu} = 60 \quad \% \\ t = 15 \quad \text{días} \quad (\text{de 10 a 15 días}) \end{array}$$

Tabla 4.13 Áreas típicas requeridas para Lecho de secado abierto.

Tipo de Fango	Región	Área (m <sup>2</sup> /persona)
Fango secundario	Holanda	0,16 – 0,33
Fango secundario	Sudáfrica	0,03 – 0,04
Fango secundario	India	0,05 – 0,10
Fango Digerido	India	0,05 – 0,10
Fango Digerido	USA	0,11 – 0,28

FUENTE: (Canosa, CURSO II DISEÑO HIDRÁULICO DE TECNOLOGÍAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ; TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE LOS RESIDUALES LÍQUIDOS , pág. 30)

#### DATOS DE CAUDALES Y CARGAS DE DISEÑO:

Caudal Medio =	Qd =	6,17	l/s	533	m <sup>3</sup> /d
Caudal Máximo =	Qd =	6,17	l/s	533	m <sup>3</sup> /d
Sólidos secos del residual (SST) =	SST =	270,00	mg/L		
DBO <sub>5</sub> =	DBO =	256,00	mg/L		
Peso específico del fango (γ) =	γ =	1,02	g/cm <sup>3</sup>		
Humedad relativa del fango crudo =	Hf =	0,96			

#### APLICANDO EL MÉTODO PRÁCTICO

#### VI.1. CÁLCULO DEL FANGO QUE LLEGA AL DIGESTOR

##### a) En la Cámara Séptica

Ef. Cámara Séptica = 55%

$$\text{DBO} = 256 \text{ mg/L DBO} \quad \text{En la entrada al UASB}$$

$$\text{Queda en la Cámara Séptica} = 141 \text{ mg/L DBO}$$

### b) En el UASB

$$\text{Ef. Cámara Séptica} = 85\%$$

$$\text{DBO} = 115 \text{ mg/L DBO} \quad \text{En la entrada al UASB}$$

$$\text{Queda en el UASB} = 98 \text{ mg/L DBO}$$

$$\text{Al lecho de secado de lodos llega} = 238,55 \text{ mg/L}$$

## VI.2. CÁLCULO DEL PESO DEL FANGO EN EL DIGESTOR POR DÍA

$$Q_d = 533,09 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$\text{DBO} = 238,55 \text{ mg/L}$$

$$\text{DBO} = 0,24 \text{ kg/m}^3$$

$$W_f = Q_d \cdot \text{DBO}$$

$$W_f = 127,17 \text{ kg/d}$$

## VI.3. CÁLCULO DEL VOLUMEN DE FANGO

$$V_f = \frac{W_f}{\gamma * 1000 * (1 - H_f)}$$

$$V_f = 3,12 \text{ m}^3/\text{d}$$

#### VI.4. CÁLCULO DEL VOLUMEN DE FANGO DIGERIDO

Considerando:

- Sólidos volátiles	75	%
- Humedad relativa	92	%
El volumen de sólidos fijos no cambia.	0	
El volumen de sólidos volátiles, decrece un:	30	%
Peso específico del fango ( $\gamma$ )	1,02	gr/cm <sup>3</sup>

$$V_{fd} = 0,74 \text{ m}^3/\text{d}$$

Si en un año se hacen las extracciones de fango del lecho de secado cada 50 Días se tendrá:

$$\text{número de extracciones por año} = 365/50 = 7,30 \text{ veces}$$

$$\text{número de extracciones por año} = 7,00 \text{ veces}$$

$$\text{Si este fango se acumulara con un espesor de: } 0,20 \text{ m}$$

se tendría una altura de:

$$\text{Altura anual de fango} = 7 \cdot 0,20 = 1,40 \text{ m}$$

El volumen de fango en un año sería:

$$\begin{aligned} V_{fd} &= 0,74 \text{ m}^3/\text{día} \\ \text{Días al año} &= 365 \text{ días} \end{aligned}$$

$$\text{Volumen anual de fango} = V_{fd} \cdot \text{día} = 270 \text{ m}^3$$

Entonces el área requerida será:

$$A = \frac{V}{h}$$

$$\begin{aligned} \text{Altura anual de fango} &= 1,40 \text{ m} \\ \text{Volumen anual de fango} &= 270 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Área total requerida:

$$A = 193 \text{ m}^2$$

$$\text{N}^\circ \text{ de limpiezas del lecho de secado} = 7,00 \text{ veces por año}$$

Área requerida:

$$A = 27,57 \text{ m}^2$$

Si se adoptan parcelas de:

$$\begin{aligned} \text{Ancho} &= 4,5 \text{ m} \\ \text{Largo} &= 6,5 \text{ m} \\ \text{Área} &= 29,25 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Se adopta} = 1 \text{ parcelas}$$

$$\text{Área total del L.S.} = 29,25 \text{ m}^2 \text{ Alcanza!}$$

## 4.9 DISEÑO DEL TANQUE DE REGULACIÓN

### CAPACIDAD DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO

#### Volumen de Regulación:

Donde:

$$V_r = ? \text{ m}^3$$

$$Q = 6,17 \text{ l/s} \quad 533 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$t = 1 \text{ día}$$

$$C = 0,15 \text{ (entre 15\% al 30 \% del consumo máx. diario)}$$

Luego el volumen de regulación del tanque será:

$$V_r = Q \cdot C \cdot t$$

$$V_r = 79,96 \text{ m}^3$$

#### Volumen de Reserva:

Donde:

**Ve = Volumen de reserva**

$$Q_{md} = 6,17 \text{ l/s}$$

$$t = 4,00 \text{ h} \text{ recomendable: 4 horas mínimo}$$

El volumen de reserva del tanque será:

$$V_e = Q_{md} \cdot t$$

$$V_e = 88,85 \text{ m}^3$$

Luego la capacidad de almacenamiento del tanque, será igual al volumen mayor resultante entre el volumen de regulación ( $V_r$ ) y el volumen de reserva ( $V_e$ ):

$$V_r = 79,96 \text{ m}^3$$

$$V_e = 88,85 \text{ m}^3$$

*Se elige:*

$$V_t = 88,85 \text{ m}^3$$

*Dimensiones Internas requeridas:*

$$L = 4,00 \text{ m}^3$$

$$a = 4,00 \text{ m}^3$$

$$h = 5,55 \text{ m}^3$$

(2) En el volumen de un tanque debe preverse también una altura de revancha, o altura libre por encima del nivel máximo de aguas, a fin de contar con un espacio de aire ventilado, dicho espacio debe ser igual o mayor a 0,20 m.

**Teniendo en cuenta el borde libre y factores constructivos adoptamos:**

$$\text{Largo: } L = 4,00 \text{ m}^3$$

$$\text{Ancho: } a = 4,00 \text{ m}^3$$

$$\text{Altura total } h = 5,30 \text{ m}^3$$

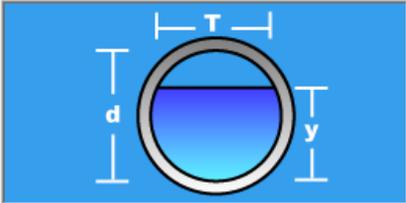
$$\text{Volumen total: } V = 84,80 \text{ m}^3$$

Se construirán dos tanques de almacenamiento en paralelo de  $42,5 \text{ m}^3$

## 4.10 DISEÑO DE TUBERÍA BY PASS

Q Med = 6,17 l/s

Datos:		
Caudal (Q):	<input type="text" value="0.00617"/>	m <sup>3</sup> /s
Diámetro (d):	<input type="text" value="0.15"/>	m
Rugosidad (n):	<input type="text" value="0.013"/>	
Pendiente (S):	<input type="text" value="0.005"/>	m/m



Resultados:					
Tirante normal (y):	<input type="text" value="0.0814"/>	m	Perímetro mojado (p):	<input type="text" value="0.2484"/>	m
Area hidráulica (A):	<input type="text" value="0.0098"/>	m <sup>2</sup>	Radio hidráulico (R):	<input type="text" value="0.0394"/>	m
Espejo de agua (T):	<input type="text" value="0.1495"/>	m	Velocidad (v):	<input type="text" value="0.6300"/>	m/s
Número de Froude (F):	<input type="text" value="0.7858"/>		Energía específica (E):	<input type="text" value="0.1016"/>	m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Subcrítico"/>				

**D = 6 PULG**

## 4.11 EFICIENCIA

Tabla 4.14 Eficiencia de remoción en tipos de tratamiento

Tipo de tratamiento	DBO %	Sólidos en susp. %	Nutrientes %	Bacterias %
Preliminar	5-10	5-20	No puede	10-20
Primario	25-50	40-70	No puede	25-75
Secundario	80-95	65-95	Puede	70-99

Fuente: CETESB.-Brasil

Tabla 4.15 Eficiencia de remoción en sistemas de tratamiento

Sistema de tratamiento	Eficiencia remoción DBO %
Cámara séptica	30 a 50
Cámara séptica + filtro anaeróbico	75 a 95
Laguna anaeróbica	50-70
Laguna facultativa	70-90
Laguna aereada	90
Tanque Imhoff	60*
Reactor de flujo ascendente	70-90

Fuente: CETESB.- Brasil y Consejo Federal de Agua Potable y Saneamiento 1993 – ARGENTINA

### EFICIENCIA DEL TRATAMIENTO:

El valor de DBO de entrada es un valor medio medido en varios sistemas de alcantarillado sanitario para aguas residuales domésticas en ciudades.

DBO DE ENTRADA = 256 mg/l

Se acepta que si reduce la DBO, también reducirán los demás parámetros contaminantes.

**Tabla 4.16** Tabla de Remoción de la demanda Bioquímica del Oxígeno

Rejas - desarenador – desgrasador -Cámara séptica - UASB - lecho secado de lodos

**REMOCIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO**

	<b>EFICIENCIA</b>	<b>DBO de ENTRADA</b>	<b>DBO de SALIDA</b>
	<b>%</b>	<b>mg/l</b>	<b>mg/l</b>
Cámara séptica	55,0%	256,00	115,20
UASB	85,0%	115,20	<b>17,28</b>

< 30 mg/l  
**OK !!**

*FUENTE: Elaboración Propia*

Según la OPS Y OMS en la salida de la planta de tratamiento:

**La DBO debe ser menor a 30 mg/l para ser usado en riego.**

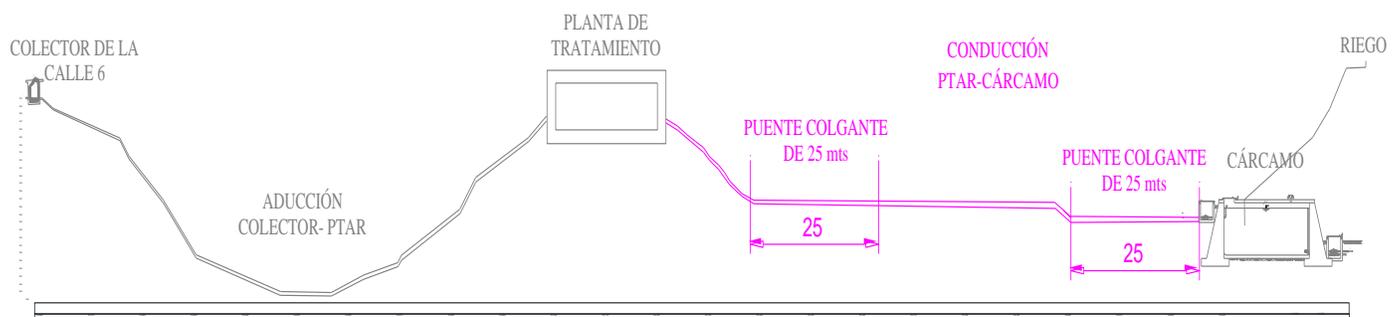
#### 4.12 ELECCIÓN Y DISEÑO DE LA CONDUCCIÓN AL CÁRCAMO

Para realizar la elección de la conducción se trazaron 2 diferentes alternativas, colocando el cárcamo al finalizar la tubería y la otra con el cárcamo en la parte superior del terreno.

Cada alternativa se dividió en dos opciones con el caudal de 6,17 l/s y la mitad de este caudal que corresponde a 3,09 l/s; cada alternativa con su respectiva opción se realizó con el programa Aquasystems donde se puede observar la elección del diámetro de la tubería el comportamiento de la misma, y el perfil de la línea Piezométrica que debe cumplir la presión mínima establecida en la norma boliviana NB 688 en cada punto o tramo (véase Anexo 4).

La elección fue analizando cada una de ellas viendo que el caudal requerido para regar toda el área comprendida de 1,87 ha del proyecto es de 6,17 l/s, donde se considera, sobre todo las características hidráulicas que requiere nuestro cárcamo a ser diseñado, para aprovechar la pérdida de carga más óptima para nuestro proyecto y sea el más conveniente para la entrega del riego, cumpliendo este análisis la alternativa elegida es con el tanque o cárcamo abajo, ubicado al finalizar el ultimo puente colgante de 25 m, es con la que se va a trabajar para realizar el diseño del presente trabajo

**Ilustración 4.15 Croquis del sistema de Conducción**



FUENTE: *Elaboración Propia*

**Tabla 4.17 Elección de Alternativas para el diseño de la Conducción**

ALTERNATIVA	Diámetro (mm)	Q (l/s)	h <sub>f</sub> (m)
Tanque arriba	100-75	6,17	3,5
Tanque abajo	62,5-50	6,17	14,5
Tanque arriba	62,5	3,09	3,5
Tanque abajo	50-37,5	3,09	14,5

FUENTE: *Elaboración Propia*

Siendo el caudal necesario de 6,17 l/s para poder regar el área comprendida de 1,87 ha, se ha escogido de entre las alternativas de pérdidas de carga y realizando un análisis, no solo así considerando lo más económico en cuanto a el costo de las tuberías se optó por la alternativa del Tanque abajo con un caudal de 6,17 l/s, siendo la alternativa más conveniente por la altura de perdida de carga que será necesaria para dar presión a los aspersores.

Tabla 4.18 Tabla diseñada por el programa Aquasystems (Diámetro asumido por el programa)

<p align="center"><b>“DISEÑO HIDRAULICO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO PARA EL REUSO DEL AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA EN RIEGO DE ÁREAS VERDES EN EL PARQUE MIRADOR HÉROES DE LA INDEPENDENCIA (SENAC)”</b></p> <p align="center"><b>DISEÑO DE ADUCCIÓN DESDE LA PTAR AL TANQUE SEMIENTERRADO O CÁRCAMO</b></p>																
Ecuación de la energía				Darcy-Weisbach				Número de Reynolds				Colebrook-White				
$constante = Z + \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + h_f$				$h_f = f \frac{8 \cdot L \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot g \cdot D^5}$				$Re = \frac{V (m/s) \cdot D(m)}{\nu (m^2/s)}$				$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log \left( \frac{e/D}{3.71} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right)$				
Tramo	Nodo Inicial	Nodo Final	Cota Terr. Inicial	Cota Terr. Final	Prof. Tub. Inicial [m]	Prof. Tub. Final [m]	Cota Tubería Inicial	Cota Tubería Final	Desnivel del Tramo [m]	Desnivel Acumulado [m]	Longitud Tramo [m]	Longitud Acumulada [m]	Caudal Q [l/s]	Diámetro [mm]	Material	Rugosidad Absoluta
Línea Principal																
a1	a1	a2	1.908,00	1.904,00	1,2	1,2	1.906,80	1.902,80	4	4	9,28	0+009,28	6,17	62,5	PVC	0,0015
a2	a2	a3	1.904,00	1.900,00	1,2	1,2	1.902,80	1.898,80	4	8	7,51	0+016,79	6,17	62,5	PVC	0,0015
a3	a3	a4	1.900,00	1.897,50	1,2	0	1.898,80	1.897,50	1,3	9,3	4,81	0+021,60	6,17	62,5	PVC	0,0015
a4	a4	a5	1.897,50	1.897,00	0	0	1.897,50	1.897,00	0,5	9,8	25,22	0+046,82	6,17	62,5	PVC	0,0015
a5	a5	x	1.897,00	1.897,00	0	1	1.897,00	1.896,00	1	10,8	23,57	0+070,39	6,17	62,5	PVC	0,0015
x	x	a6	1.897,00	1.897,00	1	1	1.896,00	1.896,00	0	10,8	11	0+081,39	6,17	50	PVC	0,0015

a6	a6	a7	1.897,00	1.895,00	1	0	1.896,00	1.895,00	1	11,8	3,41	0+084,80	6,17	50	PVC	0,0015
a7	a7	a8	1.895,00	1.895,00	0	0	1.895,00	1.895,00	0	11,8	25,01	0+109,81	6,17	50	PVC	0,0015
a8	a8	a9	1.895,00	1.895,00	0	0,35	1.895,00	1.894,65	0,35	12,15	5,6	0+115,41	6,17	50	PVC	0,0015

Número de Reynolds	Factor de Fricción	Pérdidas por D.W. [m]	Cota Energía Inicial	Cota Energía Final	Piezo-métrica Inicial [m]	Piezo-métrica Final [m]	dh desde última cámara Inicial [m]	dh Atm. N. Final [m]	Velocidad [m/s]	+/- Energía [m]	Atm.	Xi	Yi	Zi	Xf	Yf	Zf
110.064,98	0,01777	0,54	1.907,01	1.906,46	0	3,46		4	2,01			3174218,308	76183872,061	1906,8	3174290,818	76183830,138	1902,8
110.064,98	0,01777	0,44	1.906,46	1.906,02	3,46	7,02	4	8	2,01		Falso	3174290,818	76183830,138	1902,8	3174341,244	76183791,525	1898,8
110.064,98	0,01777	0,28	1.906,02	1.905,74	7,02	8,03	8	9,3	2,01		Falso	3174341,244	76183791,525	1898,8	3174380,395	76183766,782	1897,5
110.064,98	0,01777	1,48	1.905,74	1.904,26	8,03	7,06	9,3	9,8	2,01		Falso	3174380,395	76183766,782	1897,5	3174632,523	76183763,104	1897
110.064,98	0,01777	1,38	1.904,26	1.902,88	7,06	6,67	9,8	10,8	2,01		Falso	3174632,523	76183763,104	1897	3174868,015	76183762,101	1896
137.581,23	0,01704	1,89	1.902,88	1.900,99	6,38	4,49	10,8	10,8	3,14		Falso	3174868,015	76183762,101	1896	3174977,991	76183761,633	1896
137.581,23	0,01704	0,58	1.900,99	1.900,41	4,49	4,91	10,8	11,8	3,14		Falso	3174977,991	76183761,633	1896	3175004,124	76183742,143	1895
137.581,23	0,01704	4,29	1.900,41	1.896,12	4,91	0,61	11,8	11,8	3,14		Falso	3175004,124	76183742,143	1895	3175254,261	76183741,342	1895
137.581,23	0,01704	0,96	1.896,12	1.895,16	0,61	0	11,8	12,15	3,14		Falso	3175254,261	76183741,342	1895	3175309,694	76183748,631	1894,65

FUENTE: Aquasystems

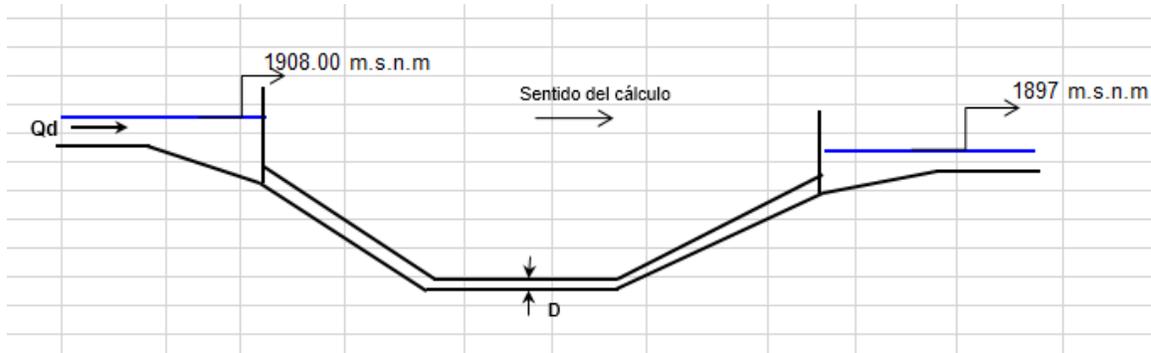
## RIEGO DE JARDINES MIRADOR MOTO MÉNDEZ

### CONDUCCIÓN (DIÁMETRO CALCULADO)

PROG: 0 a PROG: 70,40

### TRAMO CON TUBERÍA

Ilustración 4.16 Esquema de la tubería de Conducción (diámetro calculado)



FUENTE: Elaboración Propia

### DATOS PARA EL DISEÑO

$Q_d = 0,00617$  [m<sup>3</sup>/s]  
 $L_t = 70,40$  [m]  
 $\Delta H = 11,00$   
 $Cot.i = 1908,00$  [msnm] Cota del canal de ingreso  
 $Cot.s = 1897,00$  [msnm] Cota del canal de salida

### PROCEDIMIENTO DE CALCULO

#### Cálculo de las dimensiones en conductos a presión:

Las velocidades en un conducto se encuentran dentro de un rango de **2 a 3 [m/s]**

Para una sección circular adoptamos una velocidad permisible de **2 [m/s]** y por

continuidad se tiene:

$$A = \frac{Q_d}{V} \quad \text{Donde: } \begin{cases} V = 2,01 \text{ [m/s]} \\ Q_d = 0,00617 \text{ [m}^3\text{/s]} \end{cases}$$

Entonces: **A = 0,0031 m<sup>2</sup>**

*Definiendo el diámetro:*

$$D = \sqrt{\frac{4 A}{\pi}}$$

Por lo tanto: **D= 0,0625 [m]**  
**D= 2,46 [plg]**

Asumiendo un diámetro comercial de:

**D= 2,5 [plg]**      **D= 63,5 mm**

Comprobamos el funcionamiento hidráulico para este diámetro.

Por lo tanto la velocidad y radio hidráulico con el diámetro adoptado será:

$$R = \frac{D}{4} \longrightarrow$$

**V= 1,95 [m/s]**  
**R= 0,016 [m]**

### **CÁLCULO DE LA CARGA DISPONIBLE:**

Cálculo de diferencia de cotas  $\Delta Z$ .

**$\Delta Z = Cot.i - Cot.s$**       Entonces:  **$\Delta Z = 11,00 [m]$**

### **CÁLCULO DE LA PÉRDIDA DE CARGA**

Caudal de diseño:      6,17      l/s  
Caudal de diseño:      0,006      m<sup>3</sup>/s

**Diámetro adoptado:**

Tubo  
:      **PVC C - 9**  
**Dcomercial = 2,5 plg**      (ver Anexo 6)  
**Dcomercial = 73 mm**

### **Verificación por Darcy - Weisbash**

**Qc**      Gasto de Conducción      0,0062 m<sup>3</sup>/s  
**L**      Longitud del tramo      70,40 m  
**D°**      Diámetro Nominal de la tubería      **0,073 m**

e	Espesor	<b>0,003</b>	m
Dc	Diámetro de Cálculo	<b>0,067</b>	m
k	Rugosidad absoluta PRFV	<b>1,50E-06</b>	m
k/D	Rugosidad Relativa	<b>0,0000</b>	Turb. Semi Rugoso
Sc	Sección o área de Cálculo	<b>0,003</b>	m <sup>2</sup>
v	Velocidad	<b>1,77</b>	m/s
n	Viscosidad Cinemática	<b>1,15E-06</b>	m <sup>2</sup> /s
Re	Número de Reynolds	<b>102.417</b>	
f	Factor de Fricción de Darcy - Weisbach	<b>0,0179</b>	

**Resulta:**

j	Pérdida Unitaria	<b>0,043</b>	m/m
Jc	Pérdida Total por Fricción	<b>10,27</b>	m

**Pérdidas Localizadas:**

Accesorio	Ku	Cantidad	Kt
Entrada	1,00	1	1,00
Salida	1,00	0	0,00
Curva 90°	0,65	2	1,30
Curva 45°	0,45	2	0,90
Curva 30°	0,25	2	0,50
Te Normal	0,35	1	0,35
Te de Lado	0,85	0	0,00
Reducción	0,15	1	0,15
Ampliación	0,65	0	0,00
V.E.	0,18	0	0,00
V.T.C.	0,35	1	0,35
V.R.	1,25	0	0,00
<b>TOTAL, SUMA DE Kt</b>			<b>4,55</b>

$$Jl = 0,72 \text{ m}$$

**La pérdida total es:**

$$J_{tot} = 10,99 \text{ m}$$

Por lo tanto, se tiene:

$$J_{tot} = 10,99 \leq \Delta Z = 11,00 \text{ CUMPLE!}$$

D=	2,5	[plg]
D=	64	mm
Qd=	0,00617	[m <sup>3</sup> /s]

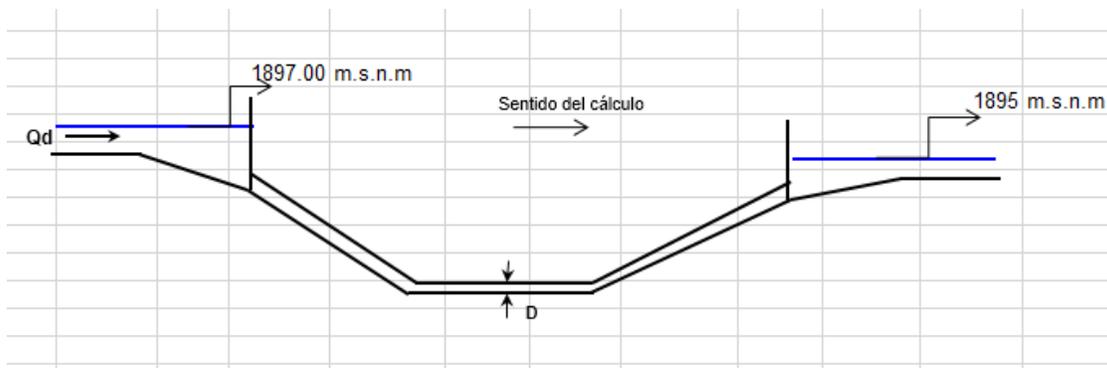
## RIEGO DE JARDINES MIRADOR MOTO MÉNDEZ

### CONDUCCIÓN (DIÁMETRO CALCULADO)

PROG: 0 a PROG: 45,00

### TRAMO CON TUBERIA

Ilustración 4.17 Esquema de la tubería de Conducción (diámetro calculado)



FUENTE: Elaboración Propia

### DATOS PARA EL DISEÑO

Qd= 0,00617 [m<sup>3</sup>/s]  
 Lt= 45,00 [m]  
 ΔH= 2,00  
 Cot.i= 1897,00 [msnm] Cota del canal de ingreso  
 Cot.s= 1895,00 [msnm] Cota del canal de salida

### PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

**Cálculo de las dimensiones en conductos a presión:**

Las velocidades en un conducto se encuentran dentro de un rango de **2 a 3 [m/s]**

Para una sección circular adoptamos una velocidad permisible de **2 [m/s]** y por

continuidad se tiene:

$$A = \frac{Qd}{V} \text{ Donde: } \left\{ \begin{array}{l} V = 3.14 \text{ [m/s]} \\ Qd = 0,00617 \text{ [m}^3\text{/s]} \end{array} \right.$$

Entonces: **A = 0,0020 m<sup>2</sup>**

**Definiendo el diámetro:**

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad \text{Por lo tanto: } \begin{array}{l} D = 0,0500 \text{ [m]} \\ D = 1,97 \text{ [plg]} \end{array}$$

Asumiendo un diámetro comercial de:

**D = 2,0 [plg]**

**D = 50,8 mm**

Comprobamos el funcionamiento hidráulico para este diámetro.

Por lo tanto la velocidad y radio hidráulico con el diámetro adoptado será:

$$R = \frac{D}{4} \longrightarrow \begin{array}{l} V = 3,04 \text{ [m/s]} \\ R = 0,013 \text{ [m]} \end{array}$$

### **CÁLCULO DE LA CARGA DISPONIBLE:**

Cálculo de diferencia de cotas  $\Delta Z$ .

**$\Delta Z = Cot.i - Cot.s$  Entonces:  $\Delta Z = 2,00 \text{ [m]}$**

### **CÁLCULO DE LA PÉRDIDA DE CARGA**

Caudal de diseño: 6.17 l/s  
Caudal de diseño: 0.006 m<sup>3</sup>/s

**Diámetro adoptado:**

Tubo: **PVC C - 9**  
**Dcomercial = 2,0 pulg** (ver Anexo 6)  
**Dcomercial = 60,35 mm**

**Verificación por Darcy - Weisbach**

Qc	Gasto de Conducción	0,0062	m <sup>3</sup> /s
L	Longitud del tramo	40,0	m
D°	Diámetro Nominal de la tubería	<b>0,060</b>	m
e	Espesor	<b>0,003</b>	m
Dc	Diámetro de Cálculo	<b>0,055</b>	m
k	Rugosidad absoluta PRFV	<b>1,50E-06</b>	m 0,0015 mm
k/D	Rugosidad Relativa	<b>0,0000</b>	Turb. Semi Rugoso
Sc	Sección o área de Cálculo	<b>0,002</b>	m <sup>2</sup>
v	Velocidad	<b>2,61</b>	m/s
n	Viscosidad Cinemática	<b>1,15E-06</b>	m <sup>2</sup> /s
Re	Número de Reynolds	<b>124.543</b>	
f	Factor de Fricción de Darcy - Weisbach	<b>0.0173</b>	

**Resulta:**

j	Pérdida Unitaria	<b>0,109</b>	m/m
Jc	Pérdida Total por Fricción	<b>1,26</b>	m

**Pérdidas Localizadas:**

Accesorio	Ku	Cantidad	Kt
Entrada	1,00	0	0,00
Salida	1,00	1	1,00
Curva 90°	0,65	0	0,00
Curva 45°	0,45	1	0,45
Curva 30°	0,25	0	0,00
Te Normal	0,35	1	0,35
Te de Lado	0,85	0	0,00
Reducción	0,15	0	0,00
Ampliación	0,65	0	0,00
V.E.	0,18	0	0,00
V.T.C.	0,35	1	0,35
V.R.	1,25	0	0,00
			<b>2,15</b>

<b>TOTAL, SUMA DE Kt</b>	
--------------------------	--

$$Jl = 0,74 \text{ m}$$

La pérdida total es:

$$J_{tot} = 2,00 \text{ m}$$

Por lo tanto se tiene:

$$J_{tot} = 2,00 \leq \Delta Z = 2,00 \text{ CUMPLE!}$$

<b>D=</b>	<b>2</b>	<b>[plg]</b>
<b>D=</b>	<b>51</b>	<b>mm</b>
<b>Qd=</b>	<b>0,00617</b>	<b>[m<sup>3</sup>/s]</b>

Como la pérdida total es de  $h_f = 13 \text{ m}$  (1908m.s.n.m. -1895m.s.n.m); queda demostrado que la combinación de tuberías cumple con el programa.

## CONCLUSIONES

- Para conocer el caudal que pasa por el colector y verificar si dicha fuente posee la capacidad de agua residual necesaria durante todo el año para ser procesada en la planta de tratamiento a diseñar, se procedió a extraer muestras cada media hora durante 12 horas, comprendidas desde las 09:00 hrs. hasta las 21:00 hrs., midiendo el tirante de agua en el colector y extrayendo un poco del agua residual para luego llevar la misma a los laboratorios y conocer las características iniciales para realizar el tipo de tratamiento que ha de requerir la planta para dar la calidad de agua necesaria para el riego.
- El trabajo fue realizado con datos extraídos del SENAMHI para realizar los cálculos necesarios para realizar el diseño de la planta de tratamiento, siendo calculado cuidadosamente el caudal requerido para toda el área a ser regada, haciendo un análisis entre los meses de septiembre y octubre que son los más críticos a considerar para el año hidrológico eligiendo el valor máximo entre ambos.
- La planta diseñada tiene la capacidad de tratar el agua de un valor de entrada de  $DBO_5$  256,20 mg/l y la salida pasando por un proceso de Pre-Tratamiento, Tratamiento Primario y Tratamiento Secundario con un valor de  $DBO_5$  17,28 mg/l, cumpliendo con los parámetros que establece la Organización Mundial de la Salud; Por lo tanto, el tratamiento propuesto tiene la capacidad de entregar agua con calidad apta para el riego de áreas verdes y plantas ornamentales.
- Como ventajas en cuanto al re uso de las aguas residuales la principal es el ahorro del agua para consumo humano, evitando así el derroche de la misma y llegando a lugares donde más se necesita o escasea este líquido elemento.
- Se concluye que el uso productivo de estas aguas tratadas constituye una vía alternativa importante para el riego de jardines como también al riego agrícola por su elevado contenido de nutrientes y materia orgánica, lo que pudiera favorecer el incremento de las cosechas y el mejoramiento de los suelos, ya que se dejaría de utilizar ciertos fertilizantes. Se utilizan fundamentalmente en el riego de cultivos no destinados al consumo humano directo, como forrajes y otros cultivos industriales.

- Como desventajas tenemos que las aguas residuales domésticas poseen cantidades de bacterias, materia orgánica, nutrientes y heces fecales por lo que, si no se realiza un tratamiento efectivo antes de su reutilización, pueden ser peligrosas a la salud, teniendo en cuenta con las costumbres de la población que de manera directa o indirecta puede llegar a tener contacto con estas aguas, considerando que a pesar de su proceso de tratamiento esta agua no es apta para consumo humano presenta microorganismos patógenos que pueden sobrevivir en el ambiente y transmitir infecciones.
- En el diseño de la aducción se determinó la clase y el diámetro a través de una serie de alternativas basadas en las características topográficas e hidráulicas de cada caso aplicando el software Aquasystems como se ha mostrado en los capítulos antecedentes.
- La potencia calculada de la bomba es de 2,99 HP, siendo la adoptada de 3 HP por ser la encontrada en el mercado. Dada las características se propone una bomba sumergible.
- Este tipo de propuesta contribuye a la reducción de aguas residuales mediante la aplicación del re uso de agua para el riego de plantas y jardines, evitando que lleguen más cantidades de esta agua a la planta de tratamiento, siendo una solución ambiental y una estrategia para el ahorro y uso eficiente del agua, enmarcada en el contexto de Gestión Integral del Recurso Hídrico y el desarrollo sostenible, reduciendo los impactos negativos generados por la extracción de las aguas en cuerpos de agua naturales y la descarga de las aguas residuales a estos mismos cuerpos.
- Por lo estudiado la aplicación de esta tecnología es una alternativa medioambiental de impacto positivo en cuanto a los factores de agua, vegetación, social y ecológico.
- Debido a que las fuentes de abastecimiento de agua se han limitado, se ha producido un mayor uso y aceptación de los efluentes de aguas residuales regeneradas como alternativa de agua para una amplia variedad de aplicaciones, incluyendo el riego de jardines y agrícolas, aseo y urinarios, industrial, refrigeración, humedales, restauración y recarga de aguas subterráneas.
- El uso de agua regenerada para fines no potable ofrece el potencial para la explotación de un "nuevo" recurso que puede sustituir las fuentes de agua potable.

- Para el sistema de riego se realizó una hipótesis en cuanto al tamaño y tipo de aspersor que se pueda requerir para el riego de toda el área, así como el tiempo de riego, almacenando el agua tratada con fines de riego en un cárcamo de volumen de  $5 \text{ m}^3$ , ubicado en la parte final de la conducción como se muestra en capítulos anteriores.

## RECOMENDACIONES

- Antes de cada proyecto de re uso se debe conocer la calidad del agua a tratar y el tipo de cultivos que se quiere regar para proponer un adecuado sistema de tratamiento que de la calidad de agua requerida para ese tipo de planta.
- Los resultados de evaluaciones DE REUSO DE AGUAS DOMESTICAS TRATADAS realizadas en campos de productores y recopilación de antecedentes nacionales e internacionales, destacan que la magnitud de los efectos dependerá de las características del suelo y cultivo a regar, de las condiciones climáticas, de la intensidad y frecuencia del riego, del manejo de suelo y del cultivo, y del riego utilizado.
- Tomando en cuenta los graves problemas de sequía que ha presentado el país en periodos recientes y que pudieran afectar considerablemente las cosechas en los próximos años y la conveniencia de darle un uso productivo a estas aguas, sería razonable la implementación de normas propias, basadas en estudios realizados en las condiciones regionales bolivianas, tipos de suelos y cultivos, hábitos higiénicos y de consumo, posibilidades técnicas, etc.
- Se recomienda tomar los datos con la mayor precisión posible para ser llevados al laboratorio y se puedan tener resultados los más fiables posibles para tener conocimiento de la calidad de agua con que se cuenta antes de elegir el tipo de tratamiento que se va a trabajar para dar la calidad de agua reutilizada en el proyecto. Así mismo tener las precauciones para la persona que ha de realizar la toma de muestras por ser un ambiente no muy salubre, de posibles focos de contagio a enfermedades por la presencia de patógenos y los olores que emana la cámara de inspección, es recomendable llevar el equipo adecuado para la extracción.
- Recomendamos también utilizar los datos más completos y de estaciones donde aún se sigan obteniendo datos y tengan con un periodo bastante extenso, para realizar los diferentes análisis y cálculos que se requieren para el diseño de la planta y/o los complementos de la misma, datos que sirven y son relevantes como la temperatura, precipitación media mensual, evapotranspiración.

- Realizar un análisis detenido de cada alternativa que pueda presentarse para el diseño de la planta, considerando las condiciones topográficas e hidráulicas para la elección de la más óptima para el presente trabajo.
- Para el diseño de riego queda como recomendación elegir el tipo de aspersor o el tipo de riego que quieran realizar, puesto que este es una alternativa basada en experiencias de empresas que trabajan en el medio y que son sujetas a cambios de acuerdo al criterio del diseñador.