



Universidad de la República  
Facultad de Ingeniería



Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental

# Planta de Tratamiento de Lixiviados del Sitio de Disposición Final de la Ciudad de Montevideo (Vertedero Felipe Cardoso)

---

## MEMORIA DESCRIPTIVA

Informe Final  
Proyecto Ingeniería Civil perfil Hidráulica-Ambiental

Noviembre 2013

### **Tutores:**

M.Sc. Ing. Leonel Crosignani

M.Sc. Ing. Juan Sanguinetti

### **Estudiantes:**

Nicolás Cunha

Santiago Pereira



# ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>DIFERENTES TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS</b>	<b>6</b>
2.1	TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO	6
2.2	TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS ANAEROBIOS	6
2.3	TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS AEROBIOS	7
2.4	SISTEMAS NATURALES	7
2.4.1	Humedales	8
2.4.2	Lagunas	8
2.5	COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS	8
<b>3</b>	<b>COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS POSIBLES PARA EL TRATAMIENTO DEL LIXIVIADO DE FELIPE CARDOSO</b>	<b>9</b>
3.1	ALTERNATIVA SELECCIONADA	9
<b>4</b>	<b>MEMORIA DESCRIPTIVA</b>	<b>11</b>
4.1	REPLANTEO DE LAS UNIDADES	11
4.2	UBICACIÓN ADOPTADA PARA LAS UNIDADES	11
4.3	SISTEMA DE SEGURIDAD, ILUMINACIÓN Y CIRCULACIÓN	12
4.4	CÁMARA DE INGRESO A LA LAGUNA DE ECUALIZACIÓN (C N° 0)	12
4.5	LAGUNA DE ECUALIZACIÓN	12
4.6	POZO DE BOMBEO	13
4.7	ADICIÓN DE SODA CÁUSTICA Y FÓSFORO	14
4.8	CÁMARA 1	14
4.9	LAGUNA AIREADA	15
4.10	SISTEMA DE AIREACIÓN	15
4.11	LAGUNA ANÓXICA	15
4.12	CÁMARA 7	16
4.13	CÁMARA 2	16
4.14	CÁMARA 3	16
4.15	SEDIMENTADOR	16
4.16	CÁMARA 4 (BOMBEO PARA DESNITRIFICACIÓN)	17
4.17	CÁMARA 5 (BOMBEO DE RECIRCULACIÓN Y PURGA DE LODOS)	18
4.18	TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO	18
4.19	TRATAMIENTO DE LODOS	18
4.20	SERVICIOS Y LABORATORIO	19
4.21	ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE	19
4.22	SISTEMA DE COMBATE CONTRA INCENDIO	19
4.23	CONSUMO DE POTENCIA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO	20
4.24	SELECCIÓN DE PUNTO DE VERTIDO FINAL	20
<b>5</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>22</b>

**INDICE DE TABLAS**

Tabla 1-1 Valores de diseño esperados de parámetros del lixiviado .....	5
Tabla 4-1 Dimensiones de laguna de equalización .....	13
Tabla 4-2 Características bombeo de lixiviado crudo a cámara 1 .....	13
Tabla 4-3 Características bombeo de lixiviado tratado a colector .....	14
Tabla 4-4 Dimensiones laguna aireada .....	15
Tabla 4-5 Dimensiones de laguna anóxica.....	16
Tabla 4-6 Características geométricas del sistema de salida del sedimentador .....	17
Tabla 4-7 Características de la bombas para desnitrificación.....	17
Tabla 4-8 Características de las bombas de recirculación de lodos.....	18
Tabla 4-9 Características de las bombas de purga de lodos.....	18

**INDICE DE FIGURAS**

Figura 4-1 Replanteo de unidades .....	11
Figura 4-2 Sistema de salida del sedimentador .....	17
Figura 5-1 Alternativas de selección de punto de disposición final del agua tratada proveniente de la planta de tratamiento.....	20

## 1 Introducción

El Presente informe plantea y analiza diferentes tratamientos para lixiviados provenientes de vertederos de residuos sólidos urbanos, seleccionando el más adecuado para la situación del vertedero Felipe Cardoso en función de la eficiencia necesaria y de la forma de operación.

En la siguiente tabla se muestran valores de diseño esperados de parámetros del lixiviado y la eficiencia de remoción necesaria para éstos según el Decreto 253/79 para vertimiento a colector, ya que el lixiviado tratado será enviado hacia el sistema de saneamiento.

Parámetro	Diseño esperado	Decreto 253/79 para vertido a colector	% Necesario remoción
pH	8,3	5,5-9,5	-
SST (mg/L)	2000	-	-
DBO (mg/L)	4000	700	82,5
DQO (mg/L)	10000	-	-
DBO/ DQO	0,4	-	-
N-NH <sub>4</sub> (mg/L)	2500	-	-
Ptotal (mg/L)	18	-	-
Cr (mg/L)	7,5	3	60
Plomo (mg/L)	0,5	0,3	40

Tabla 1-1 Valores de diseño esperados de parámetros del lixiviado

Respecto al NH<sub>4</sub>, el Decreto no prevé un valor máximo de vertido a colector. Como el lixiviado tratado será enviado hacia la red de Saneamiento de Montevideo, y las concentraciones de nitrógeno son muy superiores a las de un efluente doméstico, se prevé un valor de NH<sub>4</sub> luego del tratamiento de aproximadamente 50 mg/L (valor usual de un efluente doméstico). Para esto se necesitará una eficiencia de remoción de NH<sub>4</sub> de 98%.

Según cálculos presentados en el informe de Caracterización de Lixiviado, el caudal medio anual de llegada a la planta es de **11,3 L/s**. Este caudal corresponde al año 2014 (año con mayor generación de lixiviados).

En primer término se exponen las posibles tecnologías para el tratamiento de lixiviados provenientes de rellenos sanitarios. Estas alternativas se pueden categorizar de acuerdo a diferentes características como, por ejemplo, las eficiencias de tratamiento que se logren con cada una de ellas, o por el tipo de contaminación que puedan remover.

Los lixiviados contienen muchos elementos contaminantes como microorganismos patógenos, materia orgánica, nutrientes y sustancias tóxicas.

En el proceso de tratamiento deben tenerse en cuenta explícitamente los siguientes aspectos:

- Toxicidad a microorganismos en caso de usarse procesos biológicos de tratamiento.
- Variabilidad de las características del lixiviado en el tiempo. Deben preverse que las características físico-químicas y biológicas del lixiviado cambian extremadamente durante la vida útil de la planta. Se debe prever la flexibilidad de operación y rendimiento para todo el período de diseño y cerramiento del relleno sanitario.

- El líquido resultante del proceso debe cumplir con la reglamentación vigente (Decreto 253/79).

## 2 Diferentes tecnologías de tratamiento de lixiviados

Prácticamente todas las tecnologías conocidas para el tratamiento de aguas residuales se han probado para el tratamiento de los lixiviados de rellenos sanitarios. Existe una extensa literatura técnica sobre las aplicaciones de las diferentes tecnologías para el tratamiento de lixiviados. A continuación se hace un resumen de las más utilizadas actualmente.

### 2.1 Tratamiento físico-químico

El tratamiento físico químico, consiste en la adición de coagulantes (sales metálicas y /o polielectrolitos). Involucra proceso de:

- Coagulación: desestabilización de los coloides mediante adición de coagulante
- Floculación: aglomeración de los coloides desestabilizados favorecida por una agitación
- Sedimentación: decantación para su remoción de los coloides aglomerados

El elemento fundamental para el éxito de este proceso es determinar el coagulante o la combinación de coagulante más eficiente que se relacionan necesariamente con las características físico químicas del líquido. Los tratamientos físico-químicos se clasifican en: Precipitación química, Oxidación química, Stripping de  $\text{NH}_3$  (1).

### 2.2 Tratamientos biológicos anaerobios

Las tecnologías clásicas para la remoción de materia orgánica, que como en el caso de los lixiviados es predominantemente materia orgánica disuelta, son los procesos biológicos de tratamiento.

La Digestión Anaerobia es el proceso fermentativo que ocurre en el tratamiento anaerobio de lixiviados. El proceso se caracteriza por la conversión de la materia orgánica a metano y  $\text{CO}_2$ , en ausencia de oxígeno y con la interacción de diferentes poblaciones bacterianas

En términos de las reducciones de DBO se reportan muy altas eficiencias a cargas razonables. Usualmente se usan para llegar a niveles de tratamiento secundario, pero cuando se requieren eficiencias superiores se utilizan como pretratamiento, precediendo a sistemas aerobios como los lodos activados.

Los investigadores que han trabajado con los sistemas de tratamiento anaerobio para lixiviados en rellenos sanitarios coinciden en indicar la presencia de una acumulación muy significativa de material inorgánico precipitado dentro del reactor y en los lodos mismos del sistema anaerobio. Este es un problema práctico de gran significancia para la operatividad de los sistemas. La acumulación de material precipitado dentro del reactor termina por formar incrustaciones que limitan el volumen activo del reactor, limitan la actividad de los lodos, y taponan los sistemas de conducciones de los reactores acabando finalmente en un colapso del sistema de tratamiento, o alternativamente, en costos y complicaciones muy grandes en la operación y mantenimiento de las plantas.

### 2.3 Tratamientos biológicos aerobios

Podemos definir los procesos biológicos aerobios, como aquellos realizados por determinado grupo de microorganismos (principalmente bacterias y protozoarios) que en presencia de Oxígeno, actúan sobre la materia orgánica e inorgánica disuelta, suspendida y coloidal existente en el agua residual, transformándola en gases y materia celular, que puede separarse fácilmente mediante sedimentación.

Los procesos aerobios al igual que los anaerobios han sido ampliamente estudiados para el tratamiento de los lixiviados de rellenos sanitarios. Existe experiencia con una gran variedad de tipos de sistemas, desde las tradicionales lagunas aireadas, hasta sofisticados sistemas que acoplan reactores biológicos con procesos de ultrafiltración con membranas y se utilizan cuando se requiere obtener una baja concentración de DBOs en los efluentes.

En los reportes operativos se mencionan problemas con la generación de espumas, con la precipitación de hierro, y en el caso de los lodos activados, problemas para aceptar altas variaciones en las cargas hidráulicas y orgánicas que caracterizan a los lixiviados, como ya se ha mencionado anteriormente. Esto último puede implicar que los sistemas requieran tanques de regularización de caudales y cargas como parte del tratamiento.

### 2.4 Sistemas naturales

Los Sistemas Naturales de Tratamiento son un tipo de tecnología de bajo costo y fácil implementación, que utilizan las capacidades de tratamiento que existen naturalmente en lagunas y humedales.

Los sistemas naturales, lagunas y humedales artificiales tienen la ventaja de la simplicidad en su operación, y la posibilidad de lograr diferentes niveles de tratamiento, desde un pretratamiento, hasta un tratamiento terciario en caso de ser necesario.

La combinación de las lagunas y los humedales puede manejar adecuadamente muchos de los problemas que en otras tecnologías aparecen como son los siguientes:

- Acumulación de precipitados
- Formación de espumas
- Toxicidad a los microorganismos
- Variaciones en cargas hidráulicas y orgánicas.

Lo anterior se logra al tener tiempos de retención hidráulica muy altos y volúmenes de procesos resultantes igualmente grandes, que permiten acomodar variaciones en caudal, acumulaciones de precipitados, junto con una baja producción de gases y por lo tanto de espumas.

Desde el punto de vista de costos, si bien es cierto que los costos de inversión pueden llegar a ser similares a los de otras alternativas en sitios donde el costo del terreno es alto, los bajos costos de operación y mantenimiento son una de las principales razones de los bajos costos en valor presente.

La principal desventaja que se tiene con estos sistemas es la cantidad de terreno que requiere para localizar los procesos. Sin embargo, por la naturaleza misma de los diseños de los rellenos sanitarios, en donde hay necesidad de tener áreas de amortiguamiento visual, de ruido, y de olores, estas áreas

que usualmente están localizadas en los alrededores del relleno, podrían utilizarse como parte de los sistemas naturales de tratamiento.

#### 2.4.1 Humedales

Un humedal artificial es un sistema de tratamiento de agua residual (estanque o cauce) poco profundo, no más de 0,60 m, construido por el hombre en el que se han sembrado plantas acuáticas, contando con los procesos naturales para tratar el lixiviado.

La principal desventaja es la gran superficie que estos sistemas necesitan, la cual se calcula en base a la cantidad de habitantes de la ciudad que produce los desechos. Es necesario alrededor de 5 m<sup>2</sup> por persona, por lo que solo se utilizan para tratamiento de lixiviados de pequeñas poblaciones.

#### 2.4.2 Lagunas

Las lagunas de estabilización son el método más simple de tratamiento de lixiviados. Están constituidas por excavaciones poco profundas cercadas por taludes de tierra. Generalmente tienen forma rectangular o cuadrada. Son estanques con Área y Volumen suficientes para promover tiempos de retención elevados que aseguren la degradación de la materia orgánica mediante mecanismos de autodepuración.

El tratamiento a través de lagunas tiene como objetivo remover de los lixiviados la materia orgánica que ocasiona la contaminación.

Se clasifican de acuerdo al contenido de Oxígeno Disuelto como Anaerobias, Facultativas o Aerobias. Si el suministro de oxígeno se realiza mediante equipos de aireación se denominan lagunas Aireadas.

### 2.5 Comparación de alternativas

Los tratamientos físico-químicos presentan el problema de los altos costos debido a la utilización de reactivos químicos, compleja operación y gran volumen de producción de lodos.

En cuanto a la aplicación de tratamientos biológicos, la viabilidad de los mismos está condicionada por una serie de elementos y compuestos tóxicos para los microorganismos y que pueden inhibir las reacciones, por lo que se hace necesario un estudio detallado de las características de los lixiviados y sus variaciones.

Según ensayos realizados por la empresa Espina al lixiviado del vertedero de Felipe Cardoso en reactores pilotos se concluyó que el lixiviado crudo sin importar su concentración no presenta sustancias que puedan resultar tóxicas para microorganismos de un sistema aerobio de lodos activados y posee los nutrientes necesarios para el crecimiento de los mismos.

No se puede llegar a generalizaciones sobre la existencia de una tecnología óptima en todos los casos pues las condiciones de cada sitio pueden variar e influenciar significativamente la selección. Se puede citar por ejemplo, la disponibilidad de terrenos, de energía eléctrica, de suministros de químicos, de partes de repuesto, o de personal calificado para la operación. Si los terrenos son costosos, o no se encuentran disponibles en los alrededores del relleno sanitario, muy probablemente el tratamiento mediante sistemas naturales (lagunas o humedales) no sería el más conveniente.



### 3 Comparación de alternativas posibles para el tratamiento del lixiviado de Felipe Cardoso.

Las alternativas que se analizan son:

- Lodos activados
- Reactores anaerobios tipo UASB
- Sistemas naturales (lagunas)
- Tratamiento físico químico

El lixiviado del vertedero de Felipe Cardoso presenta una gran variación de caudal en tiempo lluvioso respecto a tiempo seco. Además, existe un amplio rango de valores en su composición química. Esto lleva a que, en el caso que se plantearan tecnologías como los lodos activados o reactores anaerobios de tipo UASB, las dimensiones de éstos y sus tiempos de retención hidráulicos usuales no serán capaces de amortiguar tales cambios, lo cual implica que estos sistemas requerirán el planteo de tanques de regularización previo al tratamiento. La gran desventaja de estos sistemas de tratamiento es su complejidad en operación.

Este motivo lleva a descartar estos sistemas complejos para facilitar a la Intendencia de Montevideo, responsable de la operación, el proceso de selección de personal y quitando la necesidad de mantenimiento excesivo de piezas y mecanismos. Un sistema robusto y de fácil operación será una opción más viable.

Al estar situado el relleno en un lugar con una superficie libre extensa, se plantea como principal opción el tratamiento mediante sistemas naturales (lagunas), los cuales pueden ser capaces de absorber las variaciones requeridas debido a sus grandes volúmenes y tiempos de retención hidráulico, además de su simplicidad en la operación.

Un problema que tienen los lixiviados, además del excesivo contenido de materia orgánica, es el gran contenido de Nitrógeno (Nitrógeno como amonio entre 1500 y 4000mg/L). Para solucionar el exceso de este nutriente existen las siguientes alternativas:

- 1) Un sistema (o laguna) anóxico seguido de aerobio y recirculación (Desnitrificación "De Cabeza").
- 2) Un sistema aerobio seguido de un anóxico (Desnitrificación "posterior").

Otros parámetros a corregir son la presencia de Cromo y Plomo (y la posible presencia de otros metales). Para esto será necesario plantear un tratamiento terciario físico-químico posterior al tratamiento biológico.

Por lo visto anteriormente la alternativa a seleccionar será de tipo biológica, con componentes físico-químicos para poder remover tanto materia orgánica y nutrientes como cromo y plomo.

#### 3.1 Alternativa seleccionada

La alternativa seleccionada consiste en un tratamiento biológico de tipo natural (lagunas), seguido de un sedimentador y un posible tratamiento físico-químico para remoción de cromo y plomo, en caso de que el lixiviado a la salida del sedimentador lo requiera.

Se presenta en la carpeta de planos un Diagrama Funcional de la planta de tratamiento (Plano DF-01).

El sistema estará compuesto por:

- Laguna de Ecuilización
- Pozo de bombeo
- Laguna anóxica
- Laguna aireada
- Sedimentador
- Tratamiento Físico-Químico
- Tratamiento de Lodos

## 4 Memoria Descriptiva

### 4.1 Replanteo de las unidades

Se localiza la laguna de ecualización en el punto de ingreso del lixiviado, evitando excavar en zona de terreno alto ("zona elevada"). Una laguna del sistema de tratamiento se ubicará donde se encuentra una laguna existente (Curva de nivel 19) para minimizar el movimiento de suelos. Debido a que el terreno tiene pendiente desde dicha laguna hacia la de ecualización, se ubicará la primera unidad de tratamiento (laguna Anóxica) en ese lugar, siguiendo el resto del tratamiento por gravedad hacia la zona de la laguna de Ecualización. La Figura 4-1 muestra el replanteo anteriormente mencionado.

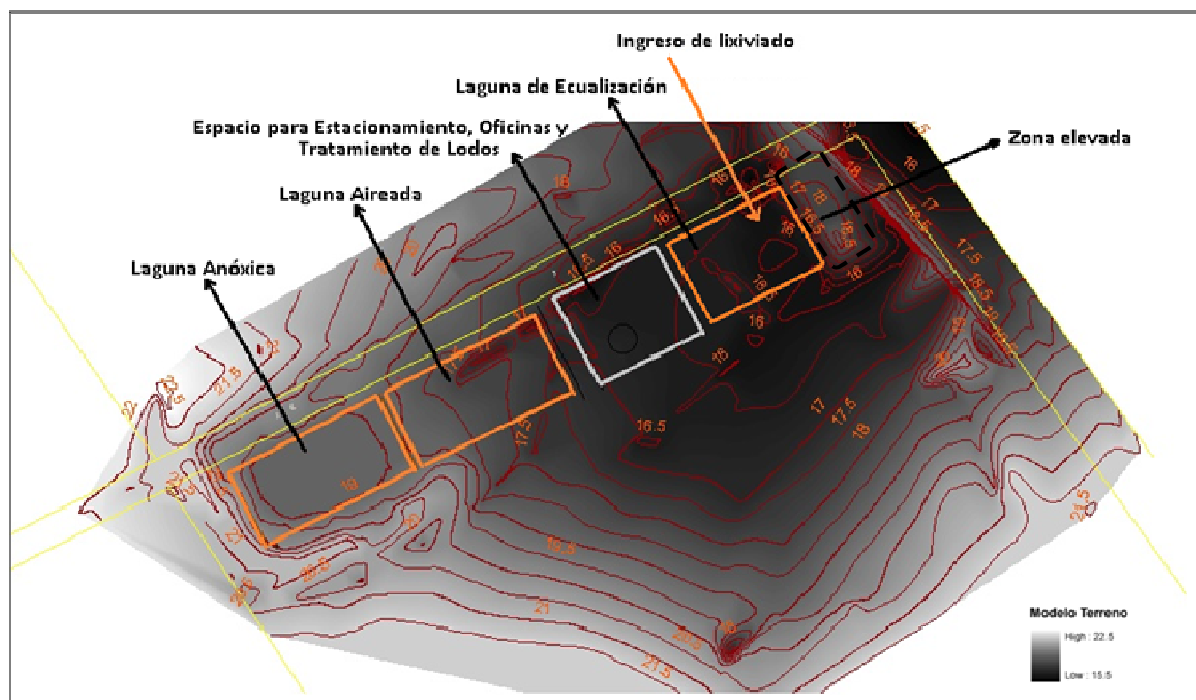


Figura 4-1 Replanteo de unidades

### 4.2 Ubicación adoptada para las unidades

La ubicación de las unidades fue proyectada de forma tal de optimizar la operativa de la planta de tratamiento, permitiendo un adecuado acceso a todas las unidades y una fácil observación de las mismas desde el edificio de oficinas.

Se dejó previsto un espacio para ingreso y maniobra de vehículos pesados para el retiro e ingreso de lodos, químicos, y demás objetos voluminosos.

Se presenta en la carpeta de planos la Planta General con las ubicaciones de las unidades (Plano PG-01).

### 4.3 Sistema de seguridad, iluminación y circulación

Se prevé un cerco perimetral para evitar el ingreso de personas no autorizadas a la planta de tratamiento, por el peligro que esto traería para los individuos, ya que las lagunas son de gran profundidad y tamaño y el lixiviado es altamente perjudicial para salud.

La planta de tratamiento estará dotada por dos portones de acceso, con la suficiente amplitud para poder ingresar con vehículos pesados.

Se diseña un sistema de iluminación de forma tal de mantener todo el predio de la planta iluminado, aumentando de esta forma la seguridad ante hurtos, y permitiendo la operación en condiciones adecuadas.

Todas las unidades serán fácilmente accesibles, tanto a pie, como con vehículos, ya que se proyectan pasarelas de circulación y explanadas de hormigón adecuadas.

### 4.4 Cámara de ingreso a la laguna de equalización (C N° 0)

Esta cámara se encuentra previa al ingreso de la laguna de equalización. En ella se encuentra el bypass de la planta de tratamiento el cual será accionado cerrando el pasaje hacia la laguna de equalización y abriendo la válvula hacia el aliviadero de la laguna.

De esta forma se permite sacar de funcionamiento la planta permitiendo hacer obras de mantenimiento o reparación de unidades.

### 4.5 Laguna de equalización

Debido a las grandes variaciones que presentan el caudal y las características del lixiviado se entiende necesaria una laguna de equalización.

Esta consiste en un estanque que permite almacenar y mezclar el lixiviado, lo que permite amortiguar picos de caudal y variaciones abruptas de características del lixiviado (pH, alcalinidad) previo al ingreso a la planta de tratamiento. Con esto se evita la fluctuación de caudal y características del lixiviado que afectan negativamente al proceso biológico involucrado en el tratamiento.

Como una estimación del lado de la seguridad se puede considerar que la laguna de equalización recibe como lixiviado toda la precipitación sobre las celdas C y D (sin tapada diaria ni final), calculadas según el método racional. Se varía la duración de tormenta y consecuentemente la intensidad de la misma de forma tal de obtener el volumen de almacenamiento necesario para la condición más desfavorable. Así la laguna tendrá una magnitud tal que podrá absorber cualquier pico de tormenta para el período de retorno considerado sumado al caudal máximo de 8 L/s que puede aportar Aborgama (Empresa encargada del proyecto de extracción de biogás de las Usinas 5, 6, 7, 8A y 8B y del bombeo de lixiviado de estas Usinas hacia la planta de tratamiento). Además a esto se le adiciona un volumen necesario para garantizar una retención hidráulica de al menos un día para caudales de lixiviados de 11,3 L/s.

Los volúmenes necesarios para la laguna de equalización son:

Volumen amortiguación picos (m <sup>3</sup> )	2999
Volumen retención hidráulica (m <sup>3</sup> )	976
<b>Volumen total (m<sup>3</sup>)</b>	<b>3975</b>

Las dimensiones adoptadas para la laguna de equalización son las siguientes:

Largo (m)	45
Ancho (m)	33
Profundidad total (m)	6
Volumen útil (m <sup>3</sup> )	3975
Revanca (m)	1
Volumen total (m <sup>3</sup> )	5350

Tabla 4-1 Dimensiones de laguna de equalización

Los ingresos a la laguna son la llegada de lixiviado crudo, mediante una tubería de PVC DN315, y el líquido efluente de la Decanter luego del tratamiento de lodos, el cual será enviado a la laguna mediante una tubería de PVC DN160 para luego entrar nuevamente al sistema de tratamiento.

La salida de la laguna de equalización será mediante una tubería de PVC DN160 que dirigirá el efluente hacia el pozo de bombeo de baja.

#### 4.6 Pozo de bombeo

El pozo de bombeo estará dividido en dos secciones rectangulares de hormigón armado de 2,5m x 2,5m cada una. Una sección correspondiente al pozo de bombeo hacia la laguna anóxica, y la otra correspondiente al pozo de bombeo hacia el colector.

Previo al ingreso a la sección de bombeo a laguna anóxica, el efluente pasará por una reja canasto de forma tal de evitar elementos que dañen la bomba o perjudiquen el tratamiento.

La sección correspondiente al bombeo hacia la laguna anóxica tendrá una profundidad total de 7,40 m. Contará con dos bombas sumergibles (una operativa más una de respaldo) que bombearán como máximo 11,3 L/s hacia la laguna anóxica. Las características de la bomba son las siguientes:

Q (m <sup>3</sup> /s)	0,0113
H diseño (m)	16,0
Potencia (HP)	4,8

Tabla 4-2 Características bombeo de lixiviado crudo a cámara 1

La sección correspondiente al bombeo hacia colector tendrá una profundidad total de 3,94 m y recibirá el lixiviado ya tratado bombeándolo hacia el sistema de saneamiento, contando con dos bombas sumergibles (una operativa más una de respaldo) con las siguientes características:

Q (m <sup>3</sup> /s)	0,0114
H diseño (m)	64,5
Potencia (HP)	29,5

Tabla 4-3 Características bombeo de lixiviado tratado a colector

Existe la opción de baypassar el pozo de bombeo hacia colector, enviando el lixiviado tratado nuevamente hacia la laguna de equalización. Esto permite sacar de funcionamiento momentáneamente el pozo de bombeo sin necesidad de detener completamente la operativa de la planta.

Ambos compartimentos del pozo (bombeo a colector y bombeo a laguna anóxica), podrán ser vaciados bombeando el lixiviado nuevamente hacia la laguna anóxica, mediante el accionar de válvulas en la cámara de válvulas junto al pozo de bombeo.

#### 4.7 Adición de Soda Cáustica y Fósforo

Considerando los consumos de alcalinidad y fósforo durante el proceso biológico de tratamiento del lixiviado, y teniendo en cuenta las necesidades de éstos durante todo el proceso, se hace necesaria la adición de soda cáustica y ácido fosfórico.

La cantidad a agregar de soda cáustica será de 2,36 m<sup>3</sup> de solución por día (soda cáustica con una dilución al 50% en peso) en el año más crítico.

Cabe aclarar que este consumo no se mantendrá durante toda la vida útil del vertedero.

El almacenamiento de la soda cáustica es llevado a cabo en dos tanques de 10 m<sup>3</sup> cada uno, ubicados en un depósito techado junto al pozo de bombeo, dentro de un área de contención con un muro de 20 cm de altura, con el fin de evitar derrames al terreno y hacia la laguna de equalización en el caso de rotura de alguno de los tanques.

La ubicación junto al pozo de bombeo es de forma tal que el camión de abastecimiento no deba realizar demasiadas maniobras para su descarga.

La cantidad necesaria a agregar de ácido fosfórico al 85% en peso es de 6,2 litros por día. El almacenamiento del ácido será en tanques dentro del mismo recinto de contención de la soda cáustica.

La dosificación de ambos productos será realizada en la cámara 2, previa al ingreso de la laguna aireada. La soda será conducida hasta la cámara mediante una tubería por donde se bombea el producto, mientras que el ácido fosfórico será dosificado de forma manual por los operarios, debido a su poca demanda diaria (6,2 L/día)

#### 4.8 Cámara 1

Esta cámara se encuentra al inicio de la laguna anóxica y recibe el lixiviado crudo a tratar mezclándolo con el lixiviado de recirculación para desnitrificación (estimado como 300% del caudal de diseño) y con la recirculación de lodos.

Tendrá una profundidad de un metro y el nivel de agua en ella será de 20,09 m.

## 4.9 Laguna aireada

La laguna aireada tiene dos finalidades. Una de ellas es la nitrificación, proceso por el cual amonio se oxida a nitrato (para posterior desnitrificación en la laguna anóxica, donde el nitrato es convertido en  $N_2$  gaseoso). El estado para que se pueda dar la nitrificación debe ser aerobio.

La otra finalidad es la remoción de  $DBO_5$ .

Esta laguna está dotada de difusores, alimentados por soplantes, en su parte inferior con la finalidad de mantener todo el cuerpo de líquido aireado.

Las dimensiones de la laguna aireada serán:

Largo (m)	54
Ancho (m)	27
Profundidad total (m)	5,5
Volumen útil ( $m^3$ )	4141
Revancha (m)	0,5
Volumen total ( $m^3$ )	4848

Tabla 4-4 Dimensiones laguna aireada

El ingreso a la laguna aireada será desde la cámara 2 mediante una tubería de PVC DN315 con una pendiente del 0,5%.

La laguna contará con dos salidas. Una hacia la cámara 3 mediante una tubería de PVC DN160, luego de la cual el líquido continuará hacia el sedimentador, y la otra salida es mediante una tubería de PEAD DN160, que mediante un bombeo ubicado en la cámara 4, envía el lixiviado hacia la cámara 1 para su ingreso a la laguna anóxica y así lograr la desnitrificación.

## 4.10 Sistema de aireación

Se prevé un sistema de aireación por medio de difusores. Este sistema estará compuesto por cuatro soplantes que funcionarán en modalidad tres operativos más uno de respaldo y las cañerías de distribución.

Los requerimientos y características técnicas se presentan en la memoria de cálculo y los detalles se encuentran en el plano PC-03 de la laguna aireada. En el Anexo de la memoria de cálculo se presentan los catálogos de los soplantes y difusores.

## 4.11 Laguna anóxica

La finalidad de esta laguna es lograr la desnitrificación (reducción biológica de los nitratos a nitrógeno gaseoso).

Para lograr esto es necesario que haya zonas sin oxígeno disuelto, pero con oxígeno combinado, ya que las bacterias encargadas de la desnitrificación, toman el oxígeno combinado en el nitrato, oxidándolo a nitrógeno gaseoso.

Las dimensiones adoptadas para la laguna anóxica son las siguientes:

Largo (m)	54
Ancho (m)	27
Profundidad total (m)	3
Volumen útil (m <sup>3</sup> )	2700
Revancha (m)	0,5
Volumen total (m <sup>3</sup> )	3409

Tabla 4-5 Dimensiones de laguna anóxica

El ingreso a la laguna anóxica es desde la cámara 1 mediante una tubería de PVC DN315 con pendiente 0,5%.

La salida de esta laguna es hacia la cámara 2 mediante una tubería de PVC DN315 con pendiente 0,5%.

Esta laguna podrá ser baypaseada mediante el accionar de válvulas en la cámara 7.

#### 4.12 Cámara 7

Esta cámara está ubicada entre las lagunas anóxica y aireada. Es una cámara seca donde por medio del cierre y apertura de válvulas, es posible baypasear la laguna anóxica, enviando el lixiviado a tratar y los lodos recirculados hacia la laguna aireada, permitiendo tareas de mantenimiento y reparación en la laguna anóxica.

#### 4.13 Cámara 2

La cámara 2 está ubicada entre las lagunas anóxica y la aireada. Esta cámara tiene por objetivo controlar el nivel en la laguna aireada, por lo que estará equipada con un vertedero de pared delgada de 40 centímetros de ancho y un nivel de cresta de 19,77 m.

Agua abajo del vertedero, la cámara recibirá las tuberías para baypasear la laguna anóxica, y la tubería de dosificación de soda cáustica.

#### 4.14 Cámara 3

Esta cámara recibe el lixiviado efluente de la laguna aerobia y lo envía por gravedad al sedimentador.

La cámara contiene un vertedero de 40 cm de ancho cuyo nivel de cresta se encuentra a 19,30 m y oficia de controlador de nivel de la laguna aireada, manteniendo el mismo en 19,50 m.

#### 4.15 Sedimentador

Se diseña un sedimentador circular de flujo vertical semi-enterrado. Este tendrá 4,0 m de profundidad y un diámetro de 8,9 m.

El lixiviado ingresará por una tubería que lo atraviesa desde su inferior hasta la parte superior donde contiene orificios para la descarga de agua.

El lixiviado clarificado será recolectado mediante un canal rectangular perimetral que luego lo conducirá a una tubería con destino la cámara 6, donde mediante el accionar de válvulas podrá



optarse por enviar el lixiviado hacia el tratamiento terciario, o baypasarlo y enviarlo directamente al pozo de bombeo a colector. El ingreso al canal será por medio de vertederos triangulares.

Tanto los lodos a purgar, como los lodos para recirculación, serán obtenidos del fondo del sedimentador y bombeados hacia sus destinos.

Las características geométricas del sistema de salida se presentan en la siguiente tabla y croquis:

Ancho canal (m)	0,3
b total 1 vertedero (m)=b1+b2	0,2
Nº vertederos	139
h (carga vertedero ) (cm)	2,0
Altura 1 vertedero (cm)	4,6
b1 (cm)	9,1
b2 (cm)	10,9
H max (m)	0,09
H total (m) = Hmax + Altura vertedero + 0.03	0,16

Tabla 4-6 Características geométricas del sistema de salida del sedimentador

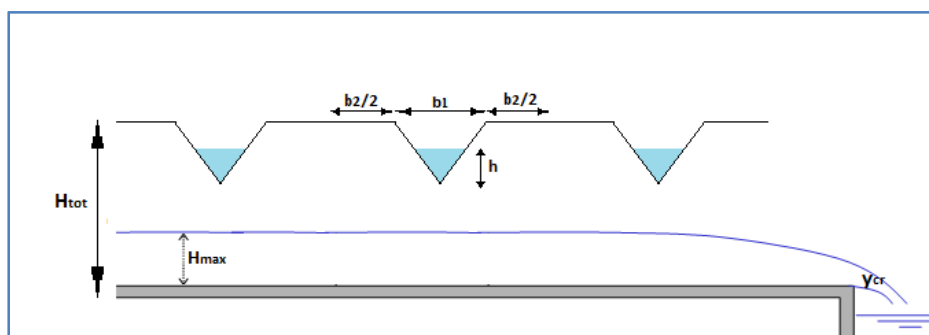


Figura 4-2 Sistema de salida del sedimentador

#### 4.16 Cámara 4 (bombeo para desnitrificación)

En esta cámara se encuentran las bombas de recirculación para desnitrificación, las cuales succionarán el lixiviado de la laguna aireada (ya nitrificado) enviándolo a la cámara 1 al inicio de la laguna anóxica para lograr la posterior desnitrificación. Para esto se recomienda un caudal de 300% del de diseño ( $Q_{\text{desnitrif}} = 11,3 * 3 = 33,9 \text{L/s}$ ).

Las bombas funcionarán en modalidad una operativa más una de respaldo y sus características se presentan en la siguiente tabla:

$Q_{\text{desnitrif}}$ ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	0,0339
H diseño (m)	7
Potencia (HP)	6,5

Tabla 4-7 Características de la bombas para desnitrificación

La cámara será cuadrada, de hormigón armado, con dimensiones de 2,5 m de lado y profundidad total 1 m.

#### 4.17 Cámara 5 (bombeo de recirculación y purga de lodos)

En esta cámara se encuentran las bombas responsables del bombeo de lodos para su tratamiento, y para su recirculación al sistema que succionan desde una tubería común desde el fondo del sedimentador.

El bombeo para recirculación de lodos envía los lodos hacia la cámara 1. Las características de las bombas se presentan en la siguiente tabla:

Q (m <sup>3</sup> /s)	0,0062
H diseño (m)	12
Potencia (HP)	2,0

Tabla 4-8 Características de las bombas de recirculación de lodos

El bombeo para purga de lodos envía los lodos en exceso hacia un tanque en el local de tratamiento para su posterior deshidratación. Las características del equipo de bombeo se presentan en la siguiente tabla:

Q (m <sup>3</sup> /s)	0,0078
H diseño (m)	12
Potencia (HP)	2,5

Tabla 4-9 Características de las bombas de purga de lodos

Este pozo será rectangular con dimensiones 3,4 m x 3,8 m y una profundidad total de 1,5 m y contará con un sistema de bombeo compuesto de cuatro bombas. Las bombas operarán en modalidad una operativa más una de respaldo.

#### 4.18 Tratamiento Físico-Químico

Se dejará previsto espacio para un posible tratamiento físico químico, en caso que luego de operada la planta, el lixiviado tratado biológicamente presente contenidos de plomo y cromo superiores a los máximos permitidos para vertido a colector.

El tratamiento consistirá en un acondicionamiento químico con agregado de polielectrolito, decantación en sedimentador circular (con un tiempo de retención hidráulica mínimo 3,5 horas), espesador de lodos y equipo de deshidratación mediante filtro prensa.

#### 4.19 Tratamiento de Lodos

Se estudiaron alternativas para el tratamiento de lodos como filtros de banda. Esta solución fue descartada debido a los grandes requerimientos de caudal de líquido de limpieza que ésta exige. En general estos sistemas de tratamiento utilizan el mismo efluente tratado para su limpieza, pero las características del lixiviado tratado impiden su uso con este fin.

El filtro de bandas necesario requeriría de un caudal de agua limpia de 5m<sup>3</sup>/h. La reserva de agua potable para un filtro de bandas trabajando durante 12 horas requeriría un almacenamiento de agua mínimo de 60m<sup>3</sup> sin tener en cuenta los demás usos para limpieza de unidades, preparación de productos químicos, etc.

Se optó por un sistema de Decanter (separación sólido/líquido por centrifugación) por ser un sistema compacto, sin grandes requerimientos de agua.

Se elige un modelo capaz de tratar 5 m<sup>3</sup> por hora de lodos y considerando que en año con caudal pico de llegada a la planta se tendrán 71,1 m<sup>3</sup> por día de lodos, el Decanter deberá estar en funcionamiento aproximadamente 14 hs. El volumen de agua de limpieza utilizada para el Decanter es de aproximadamente 5 m<sup>3</sup> por día. En el Anexo de la memoria de cálculo se presenta un catálogo del Decanter.

Se prevé que el local para tratamiento de lodos debe ser capaz de albergar el Decanter, la volqueta para acumulación de lodos, el tanque al cual llega el lodo antes de su tratamiento y los sistemas de bombeo. También deberá contar con suficiente espacio para la circulación de personal.

Teniendo esto en consideración se dimensiona el local de 15 m x 8 m.

Los lodos tratados y concentrados serán dispuestos en el vertedero Felipe Cardoso, mientras que el efluente de su tratamiento será enviado a la laguna de equalización para luego volver a ingresar al tratamiento.

Las volquetas que se utilizarán para la acumulación de lodos deshidratados serán de un tamaño tal que puedan ser movilizadas por un autoelevador, con el fin de evitar la necesidad de contar con vehículos pesados para el transporte de la volqueta al vertedero.

#### **4.20 Servicios y laboratorio**

La planta de tratamiento estará dotada de un edificio independiente compuesto por laboratorio, vestuarios, oficinas, comedor y depósito.

El edificio constará de dos plantas y tendrá las oficinas ubicadas en planta alta de forma de poder controlar visualmente todas las unidades de la planta de tratamiento sin necesidad de desplazarse.

#### **4.21 Abastecimiento de agua potable**

El sistema de abastecimiento de agua constará de un tanque de 10 m<sup>3</sup> para uso diario, ubicado junto al edificio de las oficinas. Con esta cantidad de agua se garantiza el abastecimiento durante 24 hs de los servicios que requieren agua potable.

El agua será presurizada mediante dos bombas, en modalidad una operativa y una de respaldo, y un hidroneumático de 24 litros.

Se dimensionan las bombas de forma tal de contar con 15 mca y el caudal requerido en cada punto de consumo.

Los tanques serán alimentados desde una conexión en PEAD DN63 que conectará con una tubería de abastecimiento existente en camino Cepeda de PVC DN110 según lo informado por el Ingeniero Daniel Bellón, funcionario de OSE.

#### **4.22 Sistema de combate contra incendio**

Se prevé una reserva de agua para incendio de 12 m<sup>3</sup>. Este volumen será almacenado en un tanque junto al tanque de agua potable para uso diario, y se contará con una bomba de incendio principal y una bomba jockey.

El valor de volumen necesario se desprende de clasificar al área de oficinas y galpones de tratamiento como un establecimiento de “laboratorios químicos”, por contener las oficinas un laboratorio químico, y dejando la clasificación del lado de la seguridad.

#### 4.23 Consumo de potencia de la planta de tratamiento

El consumo que deberá contratar la planta es de 312 kW, por lo que será necesario prever un espacio para la colocación de un transformador.

#### 4.24 Selección de punto de vertido final

El lixiviado tratado será enviado a colector por lo que deberá construirse una línea de impulsión hasta un colector apto para recibir el caudal tratado (11,3 L/s en el año con mas generación de lixiviados).

Se analizaron distintas alternativas de colectores cercanos para enviar el agua tratada según la Figura 4-3.



Figura 4-3 Alternativas de selección de punto de disposición final del agua tratada proveniente de la planta de tratamiento

Las alternativas 1 y 4 se descartan debido a que los colectores donde éstas descargan son de diámetro pequeño (400 mm) y luego de un largo recorrido terminan descargando en el colector principal donde descargan directamente las alternativas 2 y 3. El colector principal es ovoide de dimensiones 1,2m x 0,8m. Se selecciona la alternativa 3 ya que evita una mayor cantidad de puntos altos de terreno con los consecuentes problemas con transitorios hidráulicos que esto puede traer, además de contar con un menor recorrido.

La línea de impulsión tendrá una longitud total de 2870 metros y será construida en PEAD DN125 hasta una cámara de sacrificio, luego de la cual el lixiviado será conducido por gravedad hasta el colector durante 184 metros aproximadamente.

## 5 Bibliografía

1. **Mironel, Luna.** *Sistemas de Tratamiento para Lixiviados generados en Rellenos Sanitarios.* Sincelejo : s.n., 2008.
2. **Noeggerath, Ingrid y Salinas, Mayra.** *Análisis comparativo de Tecnologías para el Tratamiento de Lixiviados en Rellenos Sanitarios.* 2011.
3. **Peña, Gina.** *Comparación del tratamiento de lixiviados por medio de humedales artificiales con otros sistemas convencionales de tratamiento.* 2007.
4. **DINASA.** *Diseño de Sistemas de Aguas Pluviales Urbanas.* Montevideo : s.n., 2009.