

UNIVERSIDAD DEL BÍO BÍO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL

Profesor Patrocinante: Dr. Pedro Cisterna
Osorio

**CONVERSIÓN DE UNA PLANTA DE
LODOS ACTIVOS EXISTENTE A UN
HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO
SUBSUPERFICIAL.**

Proyecto de Título presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título
de Ingeniero Civil

MIGUEL ARAVENA FICA

Concepción, Marzo 2018

INDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1.INTRODUCCIÓN.....	3
1.1 Justificación	3
1.2 Alcance de la investigación	3
1.3 Objetivos de la investigación	5
1.3.1 Objetivo general	5
1.3.2 Objetivos específicos.....	5
2. MARCO TEÓRICO	6
2.1 Planta de Lodos activos	6
2.1.1 Elementos en el proceso de lodos activados	6
2.1.2 Características Operativas del Proceso de Lodos Activados	7
2.1.3 Parámetros de Diseño	7
2.1.4 Métodos Usados Para el Tratamiento de Lodos en Exceso (Desechados).....	7
2.1.5 Tratamiento Terciario de las Aguas Decantadas (Claras)	8
2.1.6 Diseño estanques de aireación	8
2.1.7 Caudal de recirculación de lodos	10
2.2 Humedales Artificiales	10
2.2.1 Funciones básicas de los humedales artificiales	10
2.3 Tipos de humedales	11
2.3.1 Humedales de Flujo Superficial o Flujo libre (HFL)	11
2.3.2 Humedales de Flujo Subsuperficial (HFS)	11
2.3.3 Humedales de Flujo Subsuperficial Vertical (HFSV)	11
2.3.4 Humedales de Flujo Subsuperficial Horizontal (HFSH)	11
2.4 Componentes de un humedal de flujo Subsuperficial horizontal.	11

2.4.1 Agua Residual	12
2.4.2 La Vegetación	12
2.4.3 Material Impermeable	12
2.4.4 Material Granular	12
2.4.5 Estructura de entrada	12
2.4.6 Estructura de salida	12
2.5 Modelo general de diseño	12
3. METODOLOGÍA	14
3.1 Análisis bibliográfico	14
3.2 Organización de la información	15
4. DISCUSIÓN Y RESULTADOS	15
4.1 Descripción general del proceso de tratamiento de lodos activos	15
4.2 Descripción de los procesos unitarios	16
4.2.1 Tratamiento preliminar	16
4.2.2 Tratamiento biológico	18
4.2.3 Sedimentador secundario	22
4.2.4 Recirculación de lodos	23
4.2.5 Desinfección de aguas servidas tratadas	23
4.3 Tratamiento de lodos	25
4.3.1 Deshidratación de lodos	26
4.4 Conversión de la planta de lodos activos	27
4.5 Análisis del lugar más factible para la construcción del humedal	32
4.6 Cálculo del Humedal	33
4.6.1 Diseño del humedal	36
4.7 Descripción del proceso constructivo	37
4.7.1 Trazado	37

4.7.2 Limpieza del terreno	39
4.7.3 Excavación	40
4.7.4 Instalación de material impermeable	41
4.7.5 Colocación de material granular	41
4.7.6 Instalación de plantas	42
4.8 Aspectos positivos de la construcción del humedal	43
5. CONCLUSIONES	44
6. REFERENCIAS	45

CONVERSIÓN DE UNA PLANTA DE LODOS ACTIVOS EXISTENTE A UN HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL

Autor: Miguel Aravena Fica

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío
miarave@alumnos.ubiobio.cl

Pedro Cisterna Osorio

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío
pcisterna@ubiobio.cl

RESUMEN

Esta investigación se basa en la elaboración de una propuesta de sustitución de una planta de tratamiento de lodos activos por un humedal artificial de flujo subsuperficial. Se analizan los distintos escenarios posibles, tanto como en la propuesta de reutilización de alguno de los procesos de la planta de lodos activos, como también la ubicación más factible para la construcción del humedal.

Esta investigación se realizó en dependencias de la Municipalidad de Yumbel, específicamente en la comunidad de Tomeco, en la planta de tratamiento de aguas residuales domesticas existente. Se realizó un diagnóstico de la planta de tratamiento actual, la cual trata las aguas provenientes de la red de alcantarillado de la comunidad de Tomeco. Se analizaron los planos, memoria técnica, manual de operación, además de un análisis en terreno para detectar algún problema existente, el cual fue principalmente la emanación de malos olores en un gran radio de expansión. Como solución de este problema se optó por la elaboración de una propuesta de construcción de un humedal artificial que cumpla con las necesidades existentes. En primer lugar, se definieron los procesos de la planta de lodos activos que iban a ser utilizados, posteriormente se analizó el terreno disponible para la construcción del humedal, se diseñó el humedal cumpliendo con los requisitos existentes y finalmente se realizó un seguimiento del proceso constructivo de la conversión de la planta de lodos activos en conjunto con la construcción del humedal artificial.

Palabras Claves: Planta de lodos activos, humedal artificial.

10125 palabras texto + 38 Figuras/Tablas * 250 = 19625 palabras.

CONVERSION OF AN EXISTING ACTIVATED SLUDGE PLAN TO AN ARTIFICIAL SUBSURFACE WETLAND.

Author: Miguel Aravena Fica

Department of Civil and Environmental Engineering, University of Bio Bio.

Email: miarave@alumnos.ubiobio.cl

Professor Sponsor: Ing. Pedro Osorio Cisterna

Department of Civil and Environmental Engineering, University of Bio Bio.

Email: pcisterna@ubiobio.cl

ABSTRACT

This research is based on the development of a proposal to replace an active sludge treatment plant for an artificial subsurface flow wetland. The different possible scenarios are analysed, both in the proposed reuse of some of the processes of the active sludge plant and in the most feasible location for the construction of the wetland.

This investigation was conducted on the establishments of the Municipalidad de Yumbel, specifically in the community of Tomeco, at the existing domestic wastewater treatment plant. A diagnosis was made of the current treatment plant, which treats the water coming from the sewage system of the community of Tomeco. We analyzed the plans, technical memory, operation manual, as well as a field analysis to detect any existing problem, which was mainly the emanation of bad smells in a large radius of expansion. As a solution to this problem, it was decided to develop a proposal for the construction of an artificial wetland that would meet the existing needs. First, the processes of the activated sludge plant to be used were defined, then the land available for the construction of the wetland was analysed, the wetland was designed to meet existing requirements, and finally the construction process of the conversion of the activated sludge plant was monitored in conjunction with the construction of the artificial wetland.

1.INTRODUCCIÓN

Actualmente se emplean distintos tipos de tecnología para el tratamiento de las aguas residuales domésticas, una de las más comunes y convencionales es el uso de plantas de lodos activos, pero ¿Es esta la mejor solución a emplear en la mayoría los casos? es una pregunta fundamental, dado que existe un aumento de la población y así de sus aguas residuales, sin embargo esta solución no siempre es la más factible, dado que si bien estas plantas de tratamiento funcionan bien para grandes ciudades como Concepción, no son la mejor solución para pequeñas comunidades como en este caso para la comunidad de Tomeco, debido a la complejidad en su operación, alto costo de inversión y en caso de alguna falla, la necesidad de expertos que en casos de pequeñas comunidades es casi imposible encontrar. Es por esto que en la actualidad se están incorporando nuevas tecnologías como los humedales artificiales.

El presente proyecto corresponda a una propuesta de sustitución de conversión de una planta de lodos activos por un Humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal para la localidad de Tomeco, en la comuna de Yumbel, VIII Región.

El proyecto propuesto tiene por objetivo principal, tratar las aguas servidas de modo que los parámetros contaminantes de interés, queden dentro de los márgenes definidos por la normativa vigente.

El diseño ha sido concebido para satisfacer los requerimientos de tratamiento de una población equivalente a servir de 225 habitantes.

El presente documento contiene la descripción del proceso, los parámetros utilizados en el diseño, cálculos y dimensionamiento del humedal, además de las unidades que componen la planta y la descripción de los equipos utilizados.

1.1 Justificación

Existen zonas rurales donde el tratamiento de las aguas servidas es un gran problema, si bien hay soluciones convencionales como las plantas de lodos activos, pero estas no son la mejor solución para pequeñas comunidades, debido a la complejidad de su funcionamiento y mantenimiento, además del costo que lleva consigo la mantención de esta planta, mayor es el problema que se presenta cuando el terreno donde se están evacuando las aguas ya tratadas no es el adecuado y esto provoca la saturación y posterior afloramiento del agua ya tratada. Cabe destacar que un mal funcionamiento u operación de la planta de lodos activos, puede traer consigo olores molestos para los residentes que se encuentran cercanos a la planta.

Con la finalidad de disminuir el impacto que genera la planta de lodos activos en su entorno, se construye un humedal de flujo subsuperficial, utilizando la planta actual como tratamiento primario para el humedal, funcionando así en conjunto, debido a que estos sistemas son de baja inversión, tienen un pequeño impacto ambiental y además aumenta el valor paisajístico y la conservación de la biodiversidad.

1.2 Alcance de la investigación.

El proyecto contempla la construcción de un Humedal de flujo subsuperficial horizontal, el cual funcionará en conjunto con una planta de lodos activos, la cual será utilizada como tratamiento

primario (Fosa). El humedal es alimentado con aguas residuales provenientes de la red de alcantarillado de la comuna de Tomeco.

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

- Elaborar una propuesta de sustitución de una planta de lodos activos por un humedal artificial de flujo subsuperficial.

1.3.2 Objetivos específicos

- Formular un diagnóstico de la planta de tratamiento de lodos activos e identificar las operaciones de esta que se pueden reutilizar.

-Proyectar modificaciones a la planta de lodos activos para que sea compatible con el humedal artificial.

-Analizar y definir el lugar más factible para la construcción del humedal.

-Diseñar un humedal que cumpla con las necesidades existentes.

-Describir el proceso constructivo.

2. MARCO TEÓRICO.

Con el fin de introducir y explicar el concepto de planta de lodos activos y humedales artificiales, se mencionará una descripción sobre las plantas de lodos activos, sus características y funcionamiento. Además de los parámetros de diseño de humedales artificiales como un sistema de tratamiento de agua residual, además de sus componentes y funciones de cada elemento que lo conforma.

2.1 Planta de Lodos activos

El proceso de Lodos Activados Convencional es un proceso biológico aeróbico (en presencia de oxígeno) de cultivo en suspensión (los microorganismos se mantienen en suspensión dentro del líquido) utilizado para el tratamiento de las aguas servidas domésticas.

El agua servida afluyente que ha sido sometida al pretratamiento y el fango activado recirculado entran en el tanque de aireación (reactor biológico) y se mezclan con aire disuelto. El suministro de aire es uniforme a lo largo de toda la longitud del estanque. Durante el periodo de aireación, se produce la adsorción, floculación y oxidación de la materia orgánica. Los sólidos del fango activado se separan en el sedimentador secundario.

La incorporación del oxígeno al agua se realiza por medio de platos difusores de burbuja fina, dada la alta eficiencia de transferencia de oxígeno que estos equipos prestan.

De este modo, se produce un proceso metabólico y los microorganismos se encargan de transformar los contaminantes biológicos en biomasa, dióxido de carbono y agua. Además, los microorganismos eliminan también compuestos como el amonio y otros compuestos nitrogenados. Se consigue así un clarificado, agua sin materia orgánica. Los microorganismos, por tanto, oxidan la materia orgánica disuelta y las partículas en suspensión y los coloides se coagulan y forman sedimento. En este sentido, los sistemas basados en procesos de oxidación avanzada, gracias a productos orgánicos tóxicos o de difícil degradación, son un instrumento adecuado ya que implican determinados compuestos con alto potencial de oxidación que actúan como iniciadores de este proceso.

2.1.1 Elementos en el proceso de lodos activados

Para llevar a cabo el proceso biológico de lodos activados es necesaria la intervención de los siguientes elementos:

El tanque de aireación: Se trata de una estructura donde el agua residual y los microorganismos se mezclan gracias a la agitación. Es en este momento en el que comienza a producirse la reacción de carácter biológico y oxidación de la materia orgánica. Durante este proceso, y para generar esa mezcla, se utiliza un equipo de aireación que permite inyectar oxígeno para activar las bacterias que se encargan de asumir la materia orgánica del agua.

El tanque sedimentador: Tras el primer procedimiento, el desagüe ya mezclado que llega del tanque aireador pasa a su sedimentación, momento en el cual se separan los sólidos suspendidos (lo que conocemos como lodos activados), para conseguir, de este modo, el clarificado. Una vez conseguido esto, entra en funcionamiento el sistema de retorno de lodos, elemento clave ya que este sistema se encarga de devolver al tanque de aireación una parte de los sedimentos para mantener la concentración de microorganismos alta. Mientras, el resto de lodos, considerados ya residuos, son distribuidos paralelamente para su tratamiento.

2.1.2 Características Operativas del Proceso de Lodos Activados

El proceso de lodos activados requiere de aireación prolongada con soplante por aire comprimido y distribución por difusores. El modelo de flujo del proceso es flujo pistón con recirculación y purga. Todas las partículas que entran al birreactor deben permanecer en el interior del mismo durante idéntico periodo de tiempo. La eficacia de eliminación (DBO5) debe ser del 75% al 95%.

2.1.3 Parámetros de Diseño

- Carga diaria de DBO5 ó materia orgánica que entra en el tanque biológico.
- Carga diaria de SST.
- Tiempo de retención celular $q_c, d = 20-30$
- Carga másica aplicada relación Kg DBO5/Kg SSVLM. $d = 0.05 - 1.5$
- Carga volumétrica Kg DBO5/m³ $d = 0.16-0.40$
- SSLM mg/l = 3000-6000
- Tiempo de retención hidráulica horas = 18-36
- Coeficiente de recirculación del decantador el tanque biológico = 1-1.5
- Carga de superficie = 1.0-1.33 m³/m².h
- Oxígeno necesario KgO₂/KgDBO5 = 2 a 2.5Kg
- Transferencia de oxígeno de los difusores (según modelo y fabricante)
- El agua del efluente procedente de un tratamiento biológico por fangos activados puede ser vertido a cauces, canales o embalses al estar dentro de los parámetros exigidos por la Ley.

2.1.4 Métodos Usados Para el Tratamiento de Lodos en Exceso (Desechados)

Los residuos del tratamiento de las aguas residuales, lodos en exceso, no pueden ser desechados sin un tratamiento adecuado; los procesos más comunes aplicados son los siguientes:

Espesado de Fangos: el espesado tiene por objetos:

- Reducción del volumen de fangos activados en proceso de declive.
- Homogeneización de los lodos procedentes de los decantadores.
- Ahorro de medios técnicos.

Digestión de los fangos: por microorganismos consumidores; existen dos tipos de digestión, según sea, el metabolismo bacteriano:

- Digestión aerobia: es la eliminación en presencia del aire de la parte fermentable (biomasa) de los lodos activados.

· Digestión anaerobia: es un proceso en ausencia de aire, por el cual, la biomasa se descompone en metano y CO₂.

Deshidratación de fangos: es la eliminación del mayor porcentaje posible del agua contenida en los lodos. El proceso se puede dar por alguna de las siguientes operaciones unitarias:

- Eras de secado
- Lagunas de fangos
- Filtración al vacío
- Centrifugación
- Filtro banda
- Filtro prensa
- Secado: directo o indirecto

2.1.5 Tratamiento Terciario de las Aguas Decantadas (Claras)

Normalmente es suficiente el clarificado de las aguas decantadas del tanque de sedimentación para cumplir con las normas ambientales de vertidos a corrientes de agua. Pero cuando se trata de utilización para uso público (agua bebible) o ambiental (corrientes de agua con ecosistemas vivos) es necesario un tratamiento terciario para oxigenar el agua a un nivel que mantenga vida animal (peces y anfibios). Las lagunas de aireación son el bioproceso más recomendado. Una laguna aireada es un estanque en el que el agua residual circula de forma continua y a su vez, es aireada. El oxígeno (aire) es suministrado por aireadores superficiales o por unidades de aireación por difusión (difusores). El grado de aireación: superficial o difusión, depende de la relación Kg DBO₅/Kg SSVLM en las aguas residuales. Si esta relación es menor a 0.5 bastará con la aireación superficial para que las aguas vertidas sean capaces de mantener vida; entre 0.5 – 1.5, se requiere de la difusión forzada de aire.

2.1.6 Diseño estanques de aireación

La reacción biológica se lleva a cabo en el reactor de lodos activados, el cual se proyecta en conjunto con la sedimentación secundaria. En muchos casos se puede, a través de la elección de un mayor volumen de reactor, conseguir la elección de un mejor Índice de Lodos (IL) para el diseño del sedimentador secundario, de modo de evitar unidades de tamaño exagerado. Se debe tender, en el caso de unidades de reactor de lodo activado de una etapa, a que el volumen del reactor no resulte menor que el del sedimentador secundario. 12 La determinación del volumen del tanque de aireación depende de los siguientes parámetros: a. Producción de biomasa, el cual corresponde a la relación entre la masa de sólidos generados respecto a la masa de DBO removida por el proceso. Para este caso se adopta $F/M = 0,80 \text{ Kg SSVLM/kg DBO}_r$ máximo. b. Se debe considerar el tiempo de retención hidráulica, que el caso de pequeños reactores no supera las 24 horas. c. Concentración de sólidos en el estanque de aireación, la cual para un proceso de aireación extendida es bastante alta adoptándose un valor de $X = 3.700 \text{ mg/l} = 3,7 \text{ kg/m}^3$ como mínimo para el año del período de previsión. d. Tiempo medio de residencia celular (aeróbico + anóxico), o también conocido como edad del lodo, que en este caso se adopta igual a 2 días. El volumen de tanque de aireación se calcula con la siguiente formula:

$$V = \frac{TCR * Y * Q(So - S)}{X * [1 + (Kd * TRC)]}$$

Donde,

V = Volumen del reactor (m³)

TCR = Tiempo de retención celular (d)

Y = Coeficiente de crecimiento bacteriano (oscila entre 0,4 a 0,8)

Q = Caudal de aguas residuales (m³ /dia)

So = DBO inicial del afluente (Kg/m³)

S = DBO final del efluente (Kg/m³)

X = SSLM –solidos suspendidos del licor mezclado- en el tanque (Kg/m³)

Kd = Coeficiente de eliminación de bacterias (oscila entre 0,040-0,075)

Se verifica el tiempo de retención hidráulica con la siguiente formula:

$$TRH = V/Q$$

Para determinar la carga másica, se calcula de la siguiente manera:

$$Cm = \frac{So * Q}{V * X}$$

Donde:

Cm = Carga másica (Kg/DBO / Kg/SSLM * d)

Para estimar el Tiempo de retención celular (TCR), en días:

$$TRC = \frac{V * X}{Qp * Xr}$$

Donde:

Qp = Caudal de purga (m³ /d)

Xr = SSLM -Solidos suspendidos en el licor mezclado- en el lodo (Kg/m³)

Del cálculo del tiempo de retención celular (TCR), se puede despejar el caudal de purga (Qp):

$$Qp = \frac{V * X}{TRC * Xr}$$

2.1.7 Caudal de recirculación de lodos

El lodo extraído del sedimentador secundario (Q_r) es en gran parte retornado al sistema de aireación a través de su ingreso al tanque aeróbico. El lodo será recirculado a los estanques de aireación, accionando la válvula en la línea de aire. Este arreglo tiene la ventaja de que mantiene una concentración de sólidos relativamente constante en el lodo recirculado y que simplifica la determinación de la tasa volumétrica de descarga de lodos activados en exceso. La tasa o razón de recirculación de lodos con relación al caudal medio puede variar desde valores tan bajos como un 30% cuando se requiere solamente oxidación carbonácea, hasta valores del 50 a 100% (y ocasionalmente hasta 150%) cuando se requiere nitrificación. Teóricamente, estos caudales son determinados haciendo un balance de masas en el estanque de aireación. Con la siguiente formula se estima el caudal de recirculación:

$$Q_r = \frac{(Q \cdot X) - (Q_p \cdot X_p)}{X_r - X}$$

Donde:

Q_r = Caudal de recirculación (m³ /d)

2.2 Humedales Artificiales

El humedal es un área que se encuentra saturada de aguas superficiales o subterráneas, con el objeto de mantener condiciones de saturación en el mismo, su altura recomendada es de 0,6 metros y posee plantación emergente, que generan y proporcionan zonas donde se forma una película bacteriana que facilita la biofiltración y biodegradación de los constituyentes orgánicos del agua residual, tipo film biológico, como también la captura de nitrógeno y fosforo, el que es utilizado en los procesos de fotosíntesis.

El humedal artificial trabaja de la siguiente manera:

- Facilita la infiltración y la adsorción de los constituyentes del agua residual doméstica, ya que es un fenómeno de superficie.
- La vegetación proporciona áreas para la formación de zonas bacterianas que biodegradan la materia orgánica.
- Permite la transferencia de oxígeno desde los tallos y hojas hasta las raíces y con ello genera condiciones para la biodegradación aeróbica de la materia orgánica.
- Controla el crecimiento de algas por fotosíntesis al limitar la penetración de la luz solar.

2.2.1 Funciones básicas de los humedales artificiales:

- Establecer y fijar los contaminantes en la superficie del suelo y la materia orgánica.
- Utilizar y transformar los nutrientes de las aguas residuales por intermedio de los microorganismos.
- Lograr niveles adecuados de eliminación de material orgánico y nutriente con bajo costo de construcción, operación y mantenimiento y además una operación simple.

2.3 Tipos de humedales

2.3.1 Humedales de Flujo Superficial o Flujo libre (HFL): El agua circula por encima del sustrato continuamente. Se favorecen las condiciones aerobias al estar el agua directamente expuesta a la atmósfera. Se emplean para tratar efluentes procedentes de tratamientos secundarios y para crear y restaurar ecosistemas acuáticos.

2.3.2 Humedales de Flujo Subsuperficial (HFS): El nivel de agua está por debajo de la superficie del terreno; el agua fluye a través de la cama de arena o grava; las raíces penetran hasta el fondo de la cama. Los sistemas de flujo subsuperficial se diseñan con el objeto de proporcionar tratamiento secundario o avanzado y consisten en canales o zanjas excavados y rellenos de material granular, generalmente grava en donde el nivel de agua se mantiene por debajo de la superficie de grava.

2.3.3 Humedales de Flujo Subsuperficial Vertical (HFSV): El agua circula verticalmente a través del sustrato de manera intermitente. Se suelen incluir chimeneas de aireación para favorecer las condiciones aerobias. Se suelen desarrollar procesos de nitrificación, entre otros.

2.3.4 Humedales de Flujo Subsuperficial Horizontal (HFSH): el agua circula horizontalmente a través del sustrato de manera continua. Se favorecen las condiciones anaerobias al mantenerse el nivel del agua por debajo del sustrato. Se suelen desarrollar procesos de desnitrificación, entre otros.

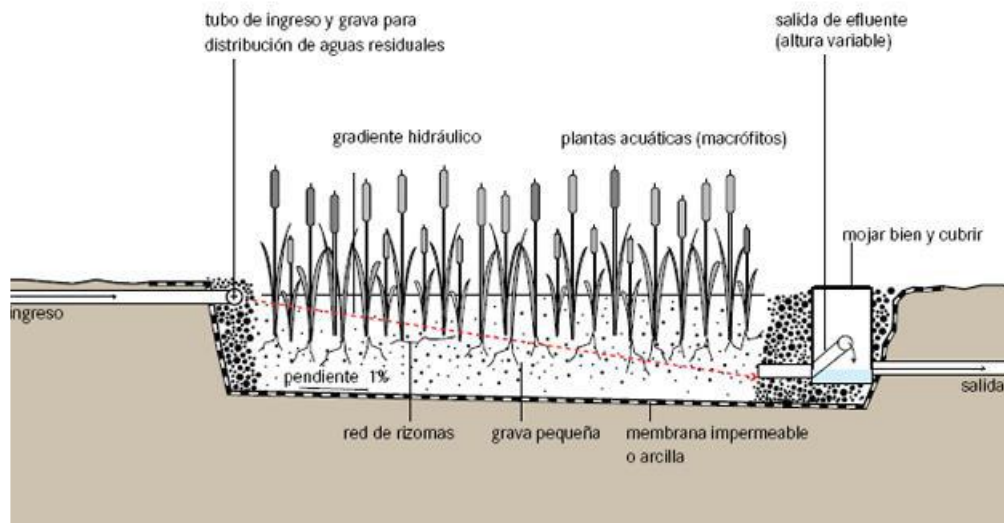


Imagen 1: Humedal artificial de flujo subsuperficial.

Fuente: Eawag.

2.4 Componentes de un humedal de flujo Subsuperficial horizontal

En este ítem se dará a conocer los principales componentes de los HFSH, los cuales son necesarios para el correcto funcionamiento del sistema.

2.4.1 Agua Residual: Corresponde al agua que desecha la comunidad una vez que ha sido contaminada por los diferentes usos para los cuales ha sido empleada. Las cuatro fuentes fundamentales de aguas residuales son: aguas residuales domésticas o urbanas, aguas residuales industriales, aguas residuales de uso agrícola y aguas residuales pluviales (Ramalho, 1996).

2.4.2 La Vegetación: Las especies más utilizadas en la construcción de humedales artificiales son: Typha (Espadaña), Scirpus (Juncos) y Phragmites (Carrizo).

La Espadaña es ubicua en distribución, robusta, capaz de crecer bajo diversas condiciones medioambientales, y se propaga fácilmente, por lo que representa una especie de planta ideal para un humedal artificial. También es capaz de producir una biomasa anual grande y tiene un potencial pequeño de remoción de N y P por la vía de la poda y cosecha. Los rizomas de Espadaña plantados a intervalos de aproximadamente 0.6m pueden producir una cubierta densa en menos de un año.

2.4.3 Material Impermeable: Su función principal es evitar la filtración del agua contaminada al subsuelo adyacente al humedal y así evitar la contaminación de este. El material comúnmente utilizado es polietileno de alta densidad.

2.4.4 Material Granular: Sirve de soporte a la vegetación y permite la fijación de la biopelícula bacteriana que interviene en la mayoría de los procesos de eliminación de contaminantes presentes en las aguas a tratar.

2.4.5 Estructura de entrada: El afluente debe ser distribuido a través de todo el ancho del humedal con una distribución uniforme y evitando la circulación de flujos preferenciales, para esto se utiliza un dispositivo de forma de T invertida que se instala en el inicio del humedal.

2.4.6 Estructura de salida: La función de este dispositivo es expulsar las aguas provenientes del humedal. En esta ocasión se utilizó un dispositivo innovar el cual consta de 4 tuberías de PVC de 90 mm el cual se encuentra introducido en la grava.

2.5 Modelo general de diseño

Los modelos de diseño sugeridos por Sherwood C. Reed, por considerarse los más compatibles y validados.

La siguiente es la ecuación básica de los reactores de flujo a pistón.

$$\frac{C_e}{C_a} = EXP(-K_t * t) \quad (\text{Salgot. M, 1997})$$

Dónde:

Ce: Concentración del contaminante en el efluente, mg/l.

Ca: Concentración del contaminante en el afluente, mg/l.

Kt: Constante de reacción de primer orden, dependiente de la temperatura, día^{-1} .

t: Tiempo de residencia hidráulica, día

L: Largo de la celda del humedal, m.

W: Ancho de la celda del humedal, m.

h: Profundidad de la celda del humedal, m.

ε : Porosidad, o espacio disponible para el flujo del agua a través del humedal, adimensional (%).

Q: Caudal medio a través del humedal, $\frac{\text{m}^3}{\text{día}}$

$$Q = [Q_e + Q_a]/2$$

Dónde:

Qe: Caudal efluente, $\frac{\text{m}^3}{\text{día}}$.

Qa: Caudal afluente, $\frac{\text{m}^3}{\text{día}}$.

El caudal medio se calcula para reparar las pérdidas o ganancias del agua residual causadas por la filtración o precipitación a través del humedal. Entonces es posible determinar el Área del humedal, A_s , combinando las dos ecuaciones.

$$A_s = L * W = Q * \ln\left(\frac{C_a}{C_e}\right) / (K_t * h * \varepsilon)$$

El valor de Kt para las ecuaciones anteriores depende del contaminante que se quiere eliminar y de la temperatura, ya que las reacciones biológicas dependen de esta variable, para un buen diseño, es necesario estimar bien la temperatura del agua en el humedal.

Por otra parte, si se considera el flujo de tipo transversal donde se tiene:

V: Velocidad aparente del flujo a través de la totalidad del área transversal de flujo de lecho (velocidad de Darcy). Se aplica la ley de darcy, si se trabaja con un material granular pequeño a medio que es este caso, si el sistema depende del gradiente hidráulico y se ha diseñado y construido de forma de minimizar los cortocircuitos hidráulicos es razonable asumir que:

$$v = K_s * S$$

Dónde:

Ks: conductividad hidráulica de una unidad del área perpendicular del humedal a la dirección de flujo $\frac{\text{m}^2}{\text{m}^2 * \text{s}}$.

S: Gradiente hidráulico o pendiente de la superficie del agua en el sistema. m/m.

Por otra parte, al ser v la velocidad transversal:

$$v = Q * A_t = Q / (W * h)$$

Dónde:

At: Área Transversal

h: Altura del Humedal.

W: Ancho del Humedal.

Por lo tanto, $\frac{Q}{W * h} = K_s * S \gg Q = W * h * K_s * S = A_t * K_s * S$

Derivando y considerando otras ecuaciones tales como:

As: Área superficial.

$$A_s = L * W$$

$$S = \frac{\partial h}{\partial L} = m * \frac{h}{L}$$

Dónde m: pendiente superficial del humedal.

$$A_t = h * W$$

Y considerando:

$$Q = W * h * K_s * m * \frac{h}{L} = h * W * K_s * m * \frac{h}{A_s} / W$$

Luego:

$$Q = W^2 * h^2 * K_s * m * h / A_s$$

$$W = \left(\frac{1}{h}\right) * \left(\frac{Q}{[K_s * m]}\right)^{0.5}$$

3. Metodología

El procedimiento que se llevó a cabo para lograr este estudio radica en la recopilación de información de la planta de lodos activos existente, además de un análisis en terreno de esta.

3.1 Análisis bibliográfico

La mayor cantidad de información será obtenida directamente desde la planta de tratamiento, donde se realizará un análisis de todos los datos existentes, incluyendo planos, memorias

técnicas, manual de operación, para así obtener datos concretos del modo de funcionamiento de la planta de lodos activos. Además del análisis teórico, se realizará un análisis en terreno de la planta de tratamiento actual, incluyendo los alrededores de la planta, para seleccionar el sitio más factible técnicamente para la construcción del humedal artificial de flujo subsuperficial.

3.2 Organización de la información

Una vez recopilada la información, esta será organizada de manera de realizar un análisis más ordenado y detallado, de tal forma de poder rescatar la información más relevante para la elaboración de la propuesta de sustitución de la planta de lodos activos.

4. DISCUSIÓN Y RESULTADOS

4.1 Descripción general del proceso de tratamiento de lodos activos

Las aguas servidas provenientes del sistema colector ingresan a la estación elevadora, ubicada al interior del recinto de la planta de tratamiento. Para proteger las bombas y retener los sólidos gruesos, se coloca un canastillo grueso de 10mm de capacidad de paso, dentro del pozo de bombeo, este tiene un teclé, portateclé, cuerda y guía para facilitar su extracción. Los sólidos extraídos del canastillo serán depositados en un receptáculo de sólidos en hormigón con bandeja de estruje en acero galvanizado, desde el cual se retorna el líquido percolado a la estación elevadora en tanto que el sólido depositado será dispuesto en bolsas de basura para su posterior retiro por camión municipal.

El agua que es impulsada desde la estación elevadora y el lodo activado recirculado entran en el tanque de aireación o reactor biológico y se mezclan con aire disuelto. El suministro de aire es uniforme a lo largo de toda la longitud del estanque. Durante el periodo de aireación, se produce adsorción, floculación y oxidación de la materia orgánica. Los sólidos se separan en un sedimentador secundario.

La incorporación del aire se realiza a través del soplador y difusores de microburbuja, cuyo diseño permite una operación eficiente, segura y sin riesgos de obstrucción. Adicionalmente este equipo al entregar aire caliente permitirá amortiguar las bajas temperaturas del agua servida cruda afluente a la planta, permitiendo de este modo tener en el reactor biológico una temperatura que permita el desarrollo de la biomasa bacteriana.

A continuación, el agua pasa a la etapa de sedimentación, la que se realiza en un sedimentador estático, de sección cuadrada con fondo de tronco piramidal. Aquí el agua servida es retenida, permitiendo que decanten las partículas sólidas en suspensión.

Los lodos estabilizados que sedimentan son en parte recirculados al estanque reactor o bien purgados hacia el sistema de estabilización con cal.

El lodo estabilizado es enviado al proceso de deshidratación mediante lechos de secado y finalmente son dispuestos en la zona de acopio para su completa higienización.

El efluente tratado y sedimentado es desinfectado mediante cloración. El cloro (hipoclorito de sodio líquido) es inyectado, al inicio del recorrido del agua por la cámara de contacto, mediante bomba dosificadora.

4.2 Descripción de los procesos unitarios

La planta de tratamiento propuesta comprende la instalación de las siguientes operaciones unitarias, las cuales se diseñan para los requerimientos correspondientes.

4.2.1 Tratamiento preliminar

Separación de sólidos gruesos

El afluente a la planta de tratamiento debe estar libre de sólidos gruesos, debido a que generan problemas en las etapas de tratamiento posterior. Para esto se contempla la instalación de un sistema de separación de sólidos consistente en un canastillo con paso de sólidos de 10 mm en acero galvanizado que se coloca al interior de la estación elevadora permitiendo con esto retener los sólidos.

Se implementa un sistema de extracción del canastillo mediante un portatecla y tecla de cadena manual, que permite levantar el canastillo para su limpieza y retiro de sólidos atrapados por este.

Los sólidos deberán ser dispuestos sobre la bandeja de estruje del receptáculo de sólidos para su posterior retiro en bolsas de basura por camión municipal.



Imagen 2: Estación elevadora.

Fuente: Elaboración propia.

Estación elevadora de aguas servidas

Para levantar la cota de llegada del líquido se requiere de una estación elevadora de manera de no tener las estructuras demasiado profundas. Este proceso unitario se realiza en un estanque construido con tubos de hormigón armado prefabricado marca Bottai o similar.

Dimensiones estación elevadora

Parámetro	Unidad	Valor
Altura útil disponible	M	1.00
Diámetro interno	M	1.45
Superficie útil de la sección circular	m ²	1.32
Volumen útil disponible	m ³	1.32

Tabla 1: Dimensiones estación elevadora.

Fuente: Memoria Técnica Planta de tratamiento de aguas servidas Tomeco.

Este proceso contempla la instalación de una batería de 2 bombas sumergibles, estacionarias, operando de forma alternada. Las principales características de las bombas elevadoras se indican en la siguiente tabla.

Parámetro	Unidad	Valor
Cantidad	Nº	2
Caudal de bombeo	L/s	2.3
Altura manométrica total	M	9.7
Potencia	KW	1.1
Paso de sólidos	Mm	43
Bombas en operación continua	Nº	1

Tabla 2: Características de las bombas elevadoras.

Fuente: Memoria Técnica Planta de tratamiento de aguas servidas Tomeco.



Figura 3: Planta elevadora.

Fuente: Elaboración propia.

Derivación de caudal (By-pass general)

El by-pass general de la planta será utilizado únicamente bajo condiciones estrictas de emergencia, cuando no sea posible, de ninguna forma, bombear el caudal afluente hacia el reactor biológico.

4.2.2 Tratamiento biológico

Las unidades que componen el tratamiento biológico corresponden al reactor biológico y al sedimentador secundario. Aunque los procesos del tratamiento biológico están bien delimitados, desde el punto de vista constructivo ambas unidades son parte de un solo objeto construido en hormigón armado estructural.

La estructura incluye entonces al reactor biológico, al sedimentador secundario, el estanque de estabilización y la cámara de contacto. En este punto interesa caracterizar las dos primeras unidades.

Tanque de aireación

La planta contempla un tanque de aireación con un volumen útil de 22.5 m³. El tiempo de retención hidráulico es de 11.7 horas para el caudal medio y la edad de lodos al final del periodo de previsión es de 5 días.

La concentración de SSLM (sólidos suspendidos totales en el licor de mezcla o biomasa celular) en el reactor biológico es de 3 Kg/m^3 . La carga volumétrica asciende a $0.5 \text{ KG DBO/m}^3/\text{día}$ y la razón de F/M es igual a $0.22 \text{ KG DBO/Kg SSVLM/día}$

A continuación, se indican las características principales de diseño y dimensionamiento del reactor biológico.

Parámetro	Unidad	Valor
Numero de reactores	N°	1
Volumen total útil	M ³	22.5
Ancho interior	M	2.5
Largo útil	M	3
Altura útil	M	3
Borde libre	Cm	40
Altura sobre nivel de terreno	M	2.34

Tabla 3: Características del tanque de aireación.

Fuente: Memoria Técnica Planta de tratamiento de aguas servidas Tomeco.

El requerimiento teórico de oxígeno se determina de acuerdo a la ecuación de Eckenfelder O'CONNOR. A partir de este valor, se estima el oxígeno requerido para las condiciones de campo más desfavorables. En la siguiente tabla se indican ambos valores junto con el volumen de aire requerido para el abatimiento de la DBO5.



Figura 4: Tanque de aireación.
Fuente: Elaboración propia.

Requerimiento de oxígeno y consumo de aire

Parámetro	Unidad	Valor
Oxígeno total requerido teórico	KG O ₂ /día	12.17
Oxígeno total requerido en cond. de campo	KG O ₂ /día	24
Volumen total de aire a suministrar	M ³ /hr	22.2
Tasa de consumo de oxígeno en condiciones de campo	kg O ₂ /KG DBOrem	2.22
DBO removida	KG DBOrem/d	10.8

Tabla 4: Requerimiento de oxígeno y consumo de aire.
Fuente: Memoria Técnica Planta de tratamiento de aguas servidas Tomeco.

Los valores fueron determinados considerando una concentración de oxígeno en el reactor de 2mg/l, altura sobre el nivel del mar de 102.35 m, concentración de saturación a temperatura estándar de 9.93 mg/l, concentración de saturación a temperatura de campo de 10.92 mg/l y con un factor beta de 0.98.

El oxígeno requerido para la remoción de la carga orgánica será transmitido por difusores instalados en el piso del estanque. Los difusores de aire son de burbuja fina marca NOPOL modelo PIK-300.

El sistema de difusores proyectado permite una operación segura, eficiente y con bajos riesgo de obstrucción, debido a la presencia de una válvula anti retorno al interior de cada difusor.

La red de difusores es alimentada mediante soplador. A continuación, se indican sus principales características:

Parámetro	Unidad	Valor
Cantidad de sopladores	Nº	2
Operación	---	Alternada
Volumen de aire por soplador	M ³ /hr	22.2
Potencia del soplador	HP	1.5

Tabla 5: Característica de la red de sopladores.

Fuente: Memoria Técnica Planta de tratamiento de aguas servidas Tomeco.



Figura 5: Sopladores.

Fuente: Elaboración propia.

4.2.3 Sedimentador secundario

Es un estanque de sedimentación de tipo estático, cuadrado con fondo tronco piramidal. Se alimenta gravitacionalmente desde el reactor biológico y vierte sus aguas clarificadas hacia la cámara de contacto, mientras los lodos acumulados en el fondo son impulsados mediante bomba hacia el estanque estabilizador de lodos o bien recirculados hacia el reactor biológico.

La unidad es cuadrada de 2.5 m de lado, lo que proporciona una superficie total de sedimentación de 6.25 m². La profundidad útil del estanque es de 2.925m, lo que proporciona un volumen útil de 12.45 m³. El fondo del estanque es un tronco de pirámide o tolva con ángulo de 60° con respecto al fondo horizontal lo que permite que el lodo sea conducido hacia el centro del sedimentador para su posterior extracción mediante bomba.

La unidad de sedimentación dispone de un baffle en fibrocemento a la entrada y un segundo baffle ubicado a la salida del efluente clarificado para la retención de flotantes.

La unidad también dispone de un vertedero en hormigón de 2.5m de longitud a la entrada y un segundo vertedero de la misma longitud a la salida. El vertedero ubicado en la entrada, cumple la función de verter el afluente de forma uniforme en todo lo ancho del estanque, en tanto que el vertedero ubicado a la salida recibe las aguas clarificadas y las conduce mediante tubería vertical hacia la cámara de contacto. Se debe tener presente que el vertedero ubicado a la entrada no posee pendiente de fondo y su altura interior es de 15 cm en tanto que el vertedero ubicado a la salida isi posee pendiente de fondo equivalente a 2% con su punto más bajo en el pasamuro de fondo del mismo y su altura interior es de 30 cm.

Las dimensiones del sedimentador se indican a continuación

Parámetro	Unidad	Valor
Superficie total de sedimentación	M ²	6.25
Numero de sedimentadores	N°	1
Altura de tronco piramidal	M	1.645
Altura total útil	M	2.925
Volumen útil	M ³	12.45

Tabla 6: Dimensiones del sedimentador secundario.

Fuente: Memoria Técnica Planta de tratamiento de aguas servidas Tomeco.



Figura 6: Sedimentador secundario.

Fuente: Elaboración propia.

4.2.4 Recirculación de lodos

Los lodos provenientes del sedimentador secundario son recirculados hacia el reactor biológico con la finalidad de mantener una adecuada concentración de lodos en el mismo.

Para el proceso convencional de lodos activados se recircula un caudal de lodos entre 0.25% - 0.75% del caudal medio afluente al sistema de tratamiento.

La bomba de recirculación, marca KSB modelo Amaporter 501ND con motor de 0.75 kW, 2900 rpm posee capacidad para elevar un caudal de 3 l/s a una altura manométrica total de 4 m. La bomba se utiliza también para la eliminación de los lodos de exceso del sistema hacia el estanque de estabilización que permitirá recircular o purgar los lodos.

4.2.5 Desinfección de aguas servidas tratadas

El diseño base de la planta de tratamiento considera como etapa de desinfección del agua tratada un sistema de desinfección mediante cloración. Para ello se considera una cámara de contacto que recibe las aguas biológicamente tratadas desde el sedimentador secundario. El estanque posee las siguientes características.

Parámetro	Unidad	Valor
Largo	M	1.5
Ancho	M	1.3
Altura útil	M	1.1
Volumen útil	M ³	2.2

Tabla 7: Dimensiones de la cámara de contacto.

Fuente: Memoria Técnica Planta de tratamiento de aguas servidas Tomeco.



Figura 7: Cámara de contacto.

Fuente: Elaboración propia.

Interiormente existen dos paneles en fibrocemento para un tiempo de residencia hidráulico no inferior a 60 minutos para el caudal medio, siendo los tiempos de retención los siguientes:

Parámetro	Unidad	Valor
TRH a caudal medio	Min	65.2
TRH a caudal máximo	Min	16.3

Tabla 8: Tiempos de retención cámara de contacto.

Fuente: Memoria Técnica Planta de tratamiento de aguas servidas Tomeco.

La línea dosificadora de cloro se conecta al pasa muro que vierte el efluente de la sedimentación hacia el interior del estanque de contacto.

Caudal de diseño (M ³ /hr)	Dosis (mg/l)	Consumo de cloro (L/hr)	Consumo de cloro (L/día)
1.97	5	0.2	4.7

Tabla 9: Dosis y consumo de cloro para las aguas tratadas.

Fuente: Memoria Técnica Planta de tratamiento de aguas servidas Tomeco.

El cloro es suministrado mediante bomba dosificadora, que entrega un caudal de 1 L/hr a una presión de 5 bar.

4.3 Tratamiento de lodos

El lodo es enviado a un estanque de estabilización mediante una bomba, para evacuar los lodos desde el estanque estabilizador hacia los lechos de secado se provee una bomba de instalación sumergible y portátil.

Los lodos son bombeados una vez al día, desde el estanque estabilizador hasta los lechos de secado para su completa deshidratación.



Figura 8: Estanque estabilizador.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.1 Deshidratación de lodos

El lodo higienizado debe ser deshidratado para su disposición final como residuo sólido inocuo. Para ello se considera un sistema de deshidratado natural (evaporación solar y drenaje) mediante lechos de secado.

El lodo impulsado desde el estanque estabilizador, es depositado sobre la cama de arena y grava de los lechos que permite el drenaje del agua hacia el inicio del proceso, mientras este se seca al sol. Al terminal de la tubería de impulsión, se conecta la manguera encargada de distribuir el lodo uniformemente en toda la superficie de secado.

El dimensionamiento de la unidad de deshidratado se indica en la siguiente tabla:

Parámetro	Unidad	Cantidad
Superficie de lechos disponible	M ²	60
Numero de celdas	N°	2
Altura máxima de lodos en la celda	M	0.3
Ancho de la celda	M	3
Largo de la celda	M	10

Tabla 10: Dimensiones lecho de secado.

Fuente: Memoria Técnica Planta de tratamiento de aguas servidas Tomeco.



Figura 9: Lecho de secado de lodos.

Fuente: Elaboración propia.

4.4 Conversión de la planta de lodos activos

Actualmente la planta existente se encuentra funcionando en malas condiciones, debido a distintas causales, una de ellas es el alto costo energético que lleva consigo, esto provoca que la planta se deje sin funcionamiento durante las noches para ahorrar dinero en energía, lo que provoca que, al volver a encender la planta por las mañanas, esta comience a emanar malos olores en un radio extenso, debido a que la planta está diseñada para un uso sin pausas.

Las plantas de lodos activos son un buen tratamiento cuando se trata de grandes ciudades como Concepción, pero en pequeñas comunidades como Tomeco, es mucho más factible la implementación de un humedal artificial, el cual cumple la misma función de una planta de lodos, pero su construcción es mucho más económica, su funcionamiento y posterior operación son mucho más simples que las que implica tener una planta de lodos y no se necesita de ningún experto para operar este tratamiento.

A continuación, se muestra el esquema actual de la planta.

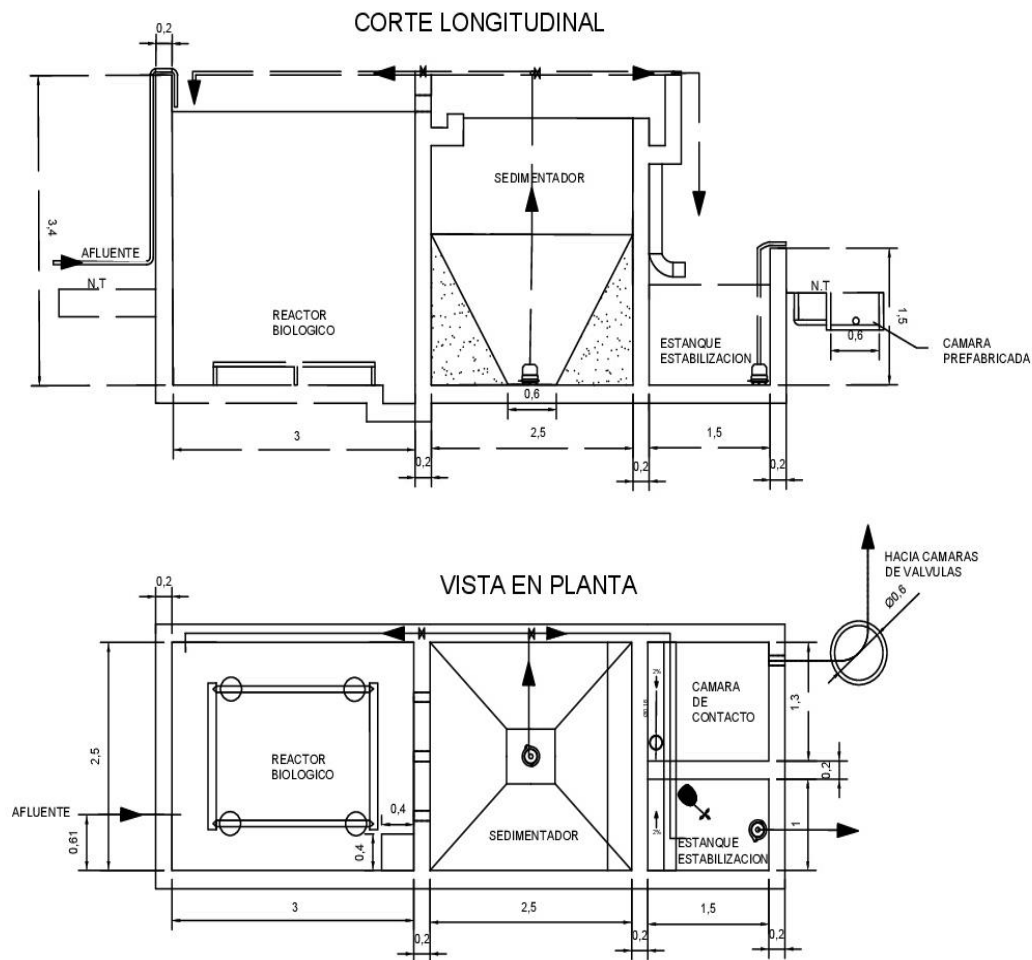


Figura 10: Esquema actual de la planta de lodos activos.
 Fuente: Planos de Planta de tratamiento de aguas servidas Tomeco.

En primer lugar, se evaluaron los distintos escenarios posibles para reutilizar alguno de los segmentos de la planta de lodos activos y se concluyó que la mejor opción era usar el estanque sedimentador como tratamiento primario del tratamiento de las aguas servidas, en buenas cuentas este cumplirá la función de fosa séptica, esta sustitución de funciones no inhabilita los circuitos hidráulicos existentes ni tampoco la funcionalidad del equipamiento, por tanto esta planta de lodos activos es sustituida en la etapa de tratamiento biológico, tal que se reemplaza la funciona biodegradadora del estanque de aireación por el humedal de flujo subsuperficial y como se ha dicho se incorporara una fase de tratamiento primario al usar el estanque de sedimentación para esta tarea.

Para esto se realizó la siguiente verificación:

Datos para el cálculo de fosa:

Población servida= 225 Habitantes

$Q_m = 1.3 \text{ M}^3/\text{Hr}$

Volumen sedimentador = 13 M^3

Volumen cámara de contacto = 3M^3

TRH = 13.2 Hrs

Con este tiempo de residencia hidráulico es suficiente para separar los SST y el agua se encuentra en condiciones para ser dirigida al humedal.

Las modificaciones a la planta actual son las siguientes:

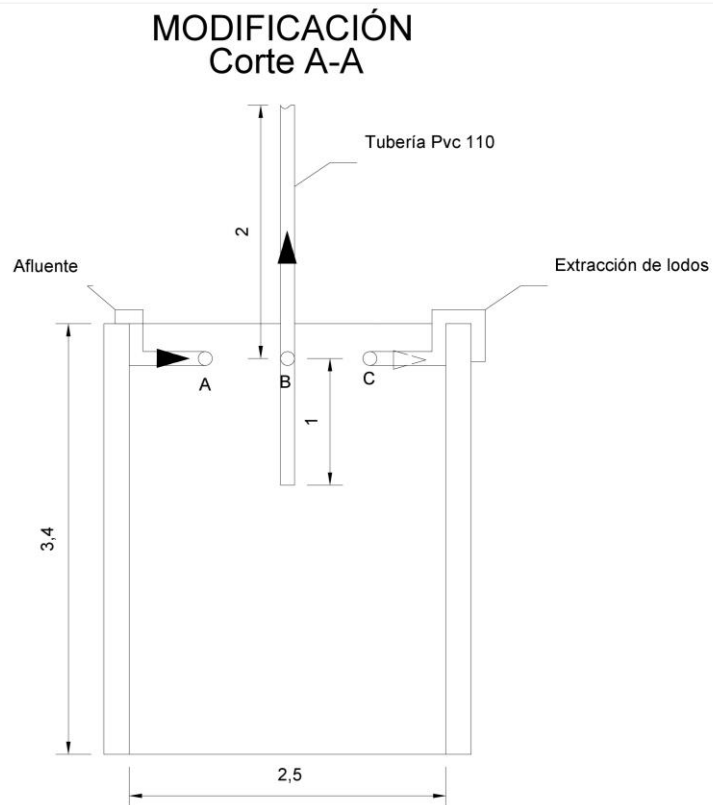


Figura 11: Modificaciones al sedimentador secundario.

Fuente: Elaboración propia.

En primer lugar, se cerrará el ingreso del agua contaminada al tanque de aireación, para dejar este sin uso, para esto se instalará una T en la tubería de entrada de la planta para así poder extender la tubería de entrada hasta el estanque sedimentador.

En segundo lugar, se construirá una tapa de estructura metálica, recubierta con HDPE, la cual será instalada sobre el estanque sedimentador y permitirá un cierre hermético de éste.

Como muestra la figura X, el punto A corresponde a la nueva entrada del afluyente al estanque sedimentador.

El punto B, corresponde a una chimenea construida para la liberación de gases acumulados en el tanque sedimentador, corresponde a una tubería de PVC de 110 mm, que se encuentra fijado al muro mediante abrazaderas metálicas.

El punto C, corresponde a una tubería de PVC conectada a la bomba que se encuentra dentro del sedimentador secundario que tiene como función la extracción de los lodos acumulados dentro del sedimentador.

El tanque de aireación ha quedado sin uso debido a la complejidad que llevaría el uso de este, debido a que, al ser utilizado como fosa séptica, los lodos se acumularían en el fondo del estanque, lo que provocaría que los sopladores ubicados en el fondo pudieran sufrir futuras falla,

además, la idea principal del proyecto es realizar las menores modificaciones de la planta de lodos activos, esto es por si llegara ocurrir alguna falla con el funcionamiento del humedal, y así poder poner en funcionamiento nuevamente la planta convencional.

En resumen, el agua proveniente de la red de alcantarillado de la comunidad de Tomeco llegará en primer lugar a la cámara de elevación existente, en la cual se separan los sólidos de mayor tamaño por medio de una rejilla existente y será enviada directamente al estanque sedimentador.

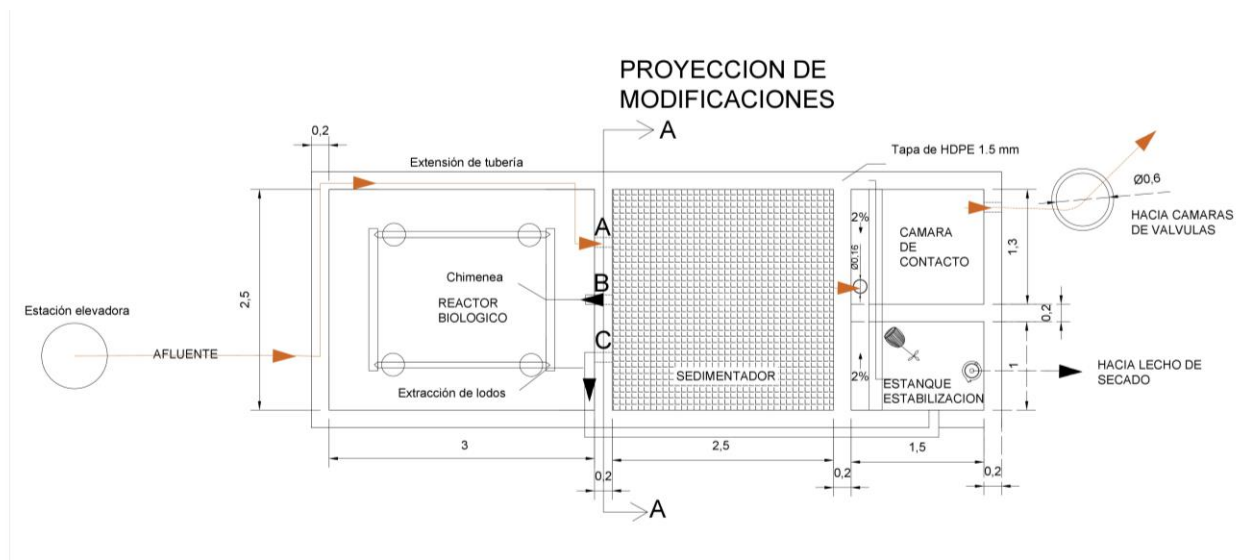


Figura 12: Nuevo esquema de funcionamiento de la planta de lodos activos.
 Fuente: Elaboración propia.

Después de pasar por el estanque sedimentador, el agua por gravedad es enviada a la cámara de contacto. Una vez pasado el efluente por la cámara de contacto, es enviado a una primera cámara existente que se encuentra junto a la cámara de contacto.



Figura 13: Cámara existente.
 Fuente: Elaboración propia.

Desde esta cámara es enviada a una cámara que se encuentra fuera de las dependencias de la planta, la cual se divide en dos cámaras que funcionan como drenes. Una de estas cámaras es la que es sellada para la excavación de la zanja y la otra queda en normal funcionamiento para ser utilizada en el periodo de transición entre la construcción del humedal.



Figura 14: Cámara existente.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez construido el humedal, se procederá a dirigir el efluente hacia el humedal, para esto se extenderá una tubería de PVC desde la cámara existente hasta la entrada del humedal.

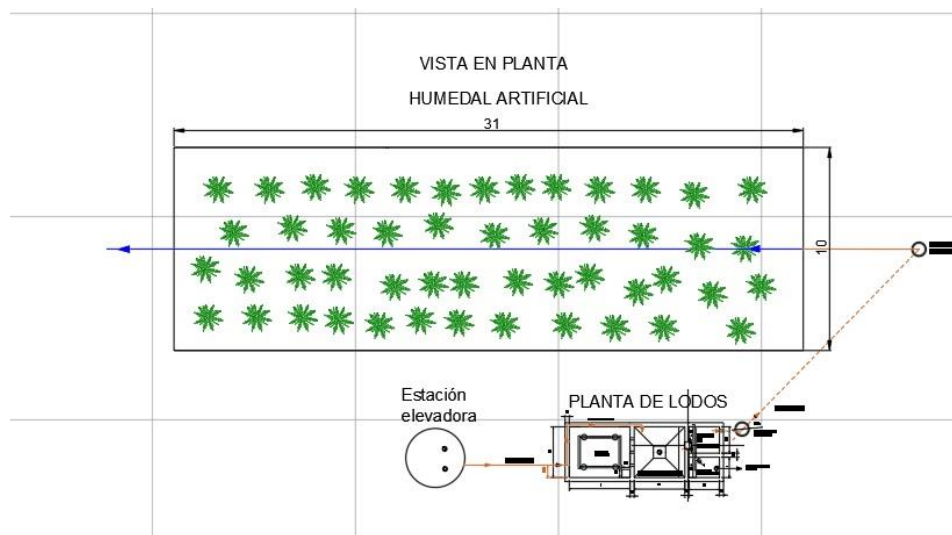


Figura 15: Nuevo esquema de funcionamiento.

Fuente: Elaboración propia.

4.5 Analisis del lugar mas factible para la construcción del humedal

Posterior al analisis de las modificaciones a realizar en la planta de lodos activos, se procedio a analizar el lugar mas factible para la construcción del humedal.

Existe un gran area disponible para la construcción del humedal, pero no toda la zona disponible es apta para la construcción del humedal. Para elegir el mejor lugar se deben tomar en cuenta distintos factores, en primer lugar se debe tomar en cuenta que el lugar elegido tiene que cumplir con las dimensiones de largo y ancho necesarias [31mts x10 mts]. En segundo lugar se debe tomar en cuenta las diferencias de cota existente entre la salida del efluente de la planta y la cota de entrada del humedal proyectado, para evitar realizar excavaciones innecesarias y que conllevaria un mayor costo del proyecto. Como último factor se debe tomar en cuenta la reutilización de material existente en el lugar, en el caso de este proyecto, el material a reutilizar es el material granular, el cual se encuentra en gran cantidad en una zona especifica del sitio disponible para la construcción del humedal y si este es reutilizado implica un gran ahorro en los costos de construcción del proyecto.

Es por esto que el lugar escogido para la construcción del humedal es al costado de la planta de tratamiento actual, el cual cuenta con las dimensiones necesarias, se encuentra bajo la cota de salida del efluente de la planta y el material extraido mediante la excavacion puede ser reutilizado en su mayoría.



Figura 16: Ubicación planta de tratamiento de lodos activos.

Fuente: Google Earth.

Zona Roja: Zona total disponible para la construcción del humedal.

Zona celeste: Zona donde se encuentra construida la planta de lodos activos.

Zona verde: Zona escogida para la construcción del humedal.



Figura 17: Lugar escogido para la construcción del humedal.

Fuente: Elaboración propia.

4.6 Cálculo del Humedal

A continuación, se presenta el cálculo para el sistema de tratamiento de aguas residuales mediante un Humedal de flujo subsuperficial, para la comunidad de Tomeco en la comuna de Yumbel.

El caudal de diseño se estimó para 225 personas con una dotación de 140 [L*hab/día] (www.gob.cl/cuidemos-el-agua,2015).

Se debe tomar en cuenta que el afluente de ingresa al humedal corresponde a aguas residuales tratadas previamente en una fosa séptica, la que alcanza una remoción de hasta un 50% de la DBO, para este caso las aguas residuales brutas previas a la fosa alcanzan una concentración de 220 mg/l, por ende, con la condición anterior de pre-tratamiento, la DBO inmediatamente antes del ingreso al humedal, llegan con una concentración de a lo menos 110 mg/l.

Datos:

DBO entrada: 120 mg/l

DBO salida: 20 mg/l

SST entrada: 20 mg/l

Caudal:

31.5 m³/d , asumiendo una dotación de 140 [l/(hab*día)].

Población: 225 personas.

Medio granular: Grava media de 20 [mm]

Porosidad: Medio granular = 0.38.

Tasa Hidráulica: $K_s = 25000 \frac{m^3}{m^2} * d$

Vegetación: Espadaña (Typha).

Profundidad del Humedal: h=0.6 m.

Temperatura critica de Invierno: -1°C

Temperatura critica en verano: 11°C

Calculo de Temperatura del Agua:

$$U = 1 / \left[\frac{h_1}{k_1} + \frac{h_2}{k_2} + \frac{h_3}{k_3} \right]$$

hi: Espesor de las capas, 1 a 3. [m]

Ki: Conductividad térmica de las capas, 1 a 3, [m]. W/(m * °C).

1: Restos de vegetación

2: Grava saturada.

Calculo de U:

$$U = \frac{1}{\left[\frac{0.15}{0.05} + \frac{0.60}{2} \right]} = 0.30$$

$$T_c = \frac{[0.30 * 86400 * 3.1]}{[4215 * 1000 * 0.6 * 0.38]} * (10 - 12) = -0.5^\circ C$$

$$T_e = 16 - 0.5 = 15.5^\circ C$$

$$T_w = [16 - 15.5] / 2 = 16^\circ C$$

Así que la temperatura de 1°C asumida es correcta y el dimensionamiento del humedal también, se asume 1°C más baja como un factor de seguridad, se tiene que la constante cinética K_s :

$$K_s = 1.104 * [1.06^{15-20}] = 0.825 \text{ día}^{-1}$$

Determinación del área superficial requerida para el humedal de flujo subsuperficial, HFSS, bajo condiciones de verano usando la ecuación, que es el periodo de mayor exigencia.

$$A_s = 31,5(\ln 120 - \ln 20) / ((0,825)(0,6)(0,38)) = 310 \text{ m}^2$$

$$\text{TRH} = 310(0,6)(0,38) / 31,5 = 2,5 \text{ d}$$

Ahora determinamos la relación Ancho y Largo usando la ecuación antes mencionada, en la que el caudal será el mismo. Tomamos un valor m de 0.05 y $K_s=3000$ m/día, que resulta de la aplicación de la Ley de Darcy que supone un flujo laminar sin cortocircuitos.

$$W = (1/0,6) * [(31,5)(310) / (0,05)(3000)]^{0,5} = 9,8 \text{ m} \diamond 10 \text{ m}$$

$$L = 310 / 10 = 31 \text{ m}$$

$$31 / 10 = 3,1 \text{ OK/}$$

A continuación, se calcula la remoción de sólidos suspendidos totales, pero como se dijo con anterioridad es solamente una estimación, dado que este no es un factor limitante en el diseño y el método de cálculo solo permite esta aproximación.

$$\text{SFS: } CH = (Q/A_s)(100) = (31,5/310)(100) = 10 \text{ cm/d, Carga Hidráulica}$$

$$\text{SFS: } C_e = (20)(0.1058 + 0.0011(10)) = 2.4 \text{ mg/l}$$

Esta es una mera estimación, pero nos sirve para comprobar los buenos rendimientos del sistema en este aspecto, aproximados al 90%. A continuación, veremos el cálculo para la remoción de nitrógeno para el humedal.

Para el humedal SFS determinaremos la constante K_{nh} para 50% y para 100% de la zona de raíces usando la ecuación:

$$K_{nh}(50\%) = 0.01854 + 0.3922 * (0.5^{2.6077}) = 0.0826 \text{ d}^{-1}$$

$$K_{nh}(100\%) = 0.01854 + 0.3922 * (1.0^{2.6077}) = 0.4107 \text{ d}^{-1}$$

Se asumirá un valor intermedio para 70% rz.

$$K_{nh}(70\%) = 0.1732 \text{ d}^{-1}$$

Determinación del área requerida para la nitrificación en el humedal SFS usando la ecuación.

$$A_s = Q * \ln\left(\frac{C_a}{C_e}\right) / (K_t * h * \varepsilon)$$

Para un rz=70%:

Dónde:

Rz: Porcentaje de la profundidad del lecho del humedal SFS ocupado por la zona de las raíces.

h: Profundidad de la celda del humedal, m.

ε : Porosidad, o espacio disponible para el flujo del agua a través del humedal, adimensional (%).

Q: Caudal medio a través del humedal, $\frac{m^3}{día}$

Ce: Concentración del contaminante en el efluente, mg/l.

Ca: Concentración del contaminante en el afluente, mg/l.

Kt: Constante de reacción de primer orden, dependiente de la temperatura, $día^{-1}$.

$Kt = K10 * 1.15^{T-20}$ para $t < 10^\circ C$.

$Kt = Knh * 1.048^{T-20}$ para $t > 10^\circ C$, luego para 70% de rz, $Kt = 0.128$ l/d y $T = 10^\circ C$.

ε : Porosidad

TRH = Tiempo de residencia hidráulico.

h = profundidad de agua en humedal.

Con los datos obtenidos de área y concentración de entrada de nitrógeno se puede estimar la concentración de salida del nitrógeno.

Se tiene que para $rz=75\%$ y $Ca = 25$ mg/l

$As = 31.5 * \ln(CN_{entrada}/ CN_{salida}) / [(0,108)(0,6)(0,38)]$ Donde $As = 310$ m²

$CN_{salida} = 19.62$ mg/l

Ahora la condición de salida del nitrógeno total para el área calculada de este humedal que se calculó en base a los requerimientos de remoción de DBO, es de 19.62 mg/l y una penetración de 75%, en que es un valor promedio.

4.6.1 Diseño del humedal

Posterior al cálculo del humedal, se procedió a realizar el diseño del humedal mediante AutoCAD, con las dimensiones calculadas anteriormente.

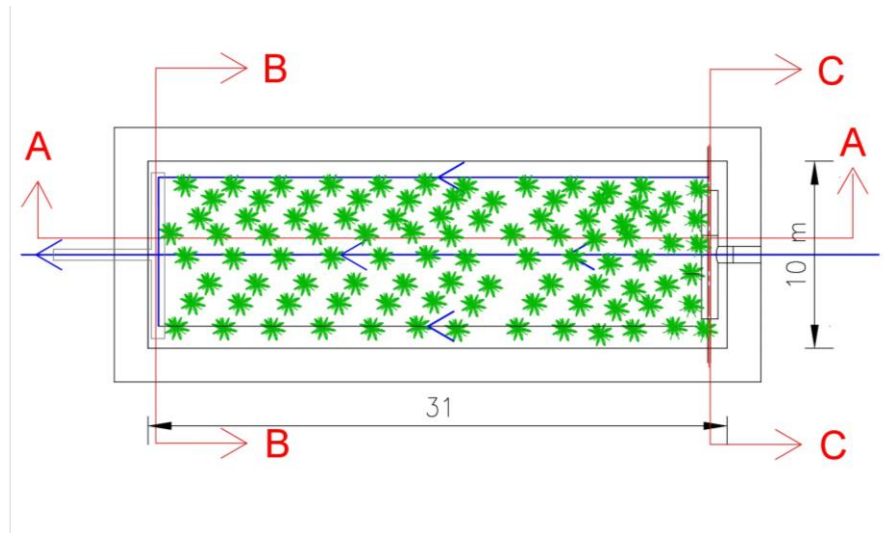


Figura 18: Vista en planta del humedal proyectado.

Fuente: Elaboración propia.

4.7 Descripción del proceso constructivo

Construcción de los humedales

Las consideraciones más importantes son el realizar una buena compactación del fondo, dando la pendiente de diseño asignada y rellenar zanjas cuidadosamente con el material granular utilizado, lo cual previene problemas de corto circuitos, flujos preferenciales o la rotura del material aislante, además de preocuparse de que la capa de arena del fondo esta uniformemente distribuida para así evitar posibles roturas del material aislante debido al contacto con el material granular.

Etapa constructiva

La construcción del humedal Tomeco, se realizó en conjunto con Municipalidad de Yumbel y la Universidad del Bío-Bío. Se llegó a un convenio entre la Municipalidad y la Universidad, el cual consiste en que la Universidad del Bío-Bío con fondos obtenidos mediante concurso de la Macrofacultad, aporta con la elaboración del proyecto de ingeniería, el material impermeable HDPE, su colocación y las plantas con su instalación. Y la Municipalidad de Yumbel aportaría el terreno para la construcción del humedal y la maquinaria para la excavación, además de cualquier suministro que pudiera hacer falta. Con este acuerdo se comenzó la etapa de construcción del Humedal Tomeco.

4.7.1 Trazado

En primer lugar, se realizó el trazado de la zona donde será construido el humedal, esto se realizó mediante medición con huincha y demarcación mediante estacas metálicas y cal.



Figura 19: Trazado del humedal.

Fuente: Elaboración propia.

Cabe mencionar que dentro de la zona donde se construyó el humedal, se encontraban ubicados dos drenes pertenecientes a la planta de lodos activos, y para no dejar sin descarga del efluente a la planta en el periodo de transición, se decidió por eliminar uno de estos drenes y dejar el otro en funcionamiento normal, para esto se selló la entrada de uno de los drenes con hormigón para que no se filtrara agua proveniente desde el efluente.



Figura 20: Cámara existente.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 21: Sellado de cámara existente.

Fuente: Elaboración propia.

4.7.2 Limpieza del terreno

Una vez realizado el sello del dren, se realizó una limpieza del terreno con retroexcavadora, para retirar árboles y malezas en general, para así poder reutilizar el material existente en el lugar y este tenga la menor contaminación posible.



Figura 22: Limpieza de terreno.

Fuente: Elaboración propia.

4.7.3 Excavación

Posteriormente se efectuó la excavación de la zanja correspondiente, en la zona de construcción del humedal, con las dimensiones calculadas anteriormente, esto se realizó mediante una retroexcavadora, debido a la gran dimensión del humedal.



Figura 23: Excavación de terreno.

Fuente: Elaboración propia.

El material extraído de la excavación, fue acopiado en uno de los extremos del humedal, para su posterior reutilización, esto se realizó para disminuir en gran cantidad los costos de la construcción del humedal.

La cantidad de material granular extraída fue de 170 M^3 aproximadamente lo que implicó un gran ahorro en costos de construcción, aproximadamente \$1.700.000.



Figura 24: Material extraído de la excavación.

Fuente: Elaboración propia.

Este humedal consiste en una zanja en el suelo de una profundidad de 60 cm, con 10 metros de ancho por 30 metros de largo, con una pendiente de un 0.3% aproximadamente.



Figura 25: Área excavada.

Fuente: Elaboración propia.

4.7.4 Instalación de material impermeable

Esta zanja se debe cubrir con un polímero de alta densidad, el cual evita la filtración de las aguas contaminadas al suelo. El polímero corresponde a HDPE de alta densidad de espesor 1.5mm, el cual es instalado por tramos y soldado mediante termo fusión, hasta abarcar la totalidad del humedal.

4.7.5 Colocación de material granular e instalación de dispositivos de entrada y salida del humedal

Una vez instalado el polímero de alta densidad, se deposita en primer lugar una capa de arena sobre toda el área del humedal, con un espesor de 5 cm aproximadamente (volumen aproximado de $15.5M^3$) con el propósito de proteger el polímero del punzonamiento generado por el material granular que se depositara posteriormente. Una vez depositada la capa de arena, se deposita el material granular, el que corresponde a una grava chancada que se encontraba en el terreno anteriormente con una granulometría de 30-40 mm (Volumen aproximado de $186 M^3$), considerando una profundidad promedio de 0.6 m y un área de $310 M^2$. Paralelamente con esto se realiza la instalación de los dispositivos de entrada y salida del humedal. El dispositivo de entrada se dispuso bajo de la superficie del material granular para que las aguas no quedaran expuestas sobre la superficie y así evitar malos olores. Este dispositivo consta de una tubería de T invertida en forma perpendicular en relación de la superficie del humedal, el cual se instala 10 cm aproximadamente bajo la superficie.

El dispositivo de salida se encuentra introducido en el fondo de la grava y posee un sifón a la altura de la superficie aproximadamente, para mantener la cota de agua constante en el humedal. Este cuenta con cuatro tuberías de PVC sanitario de 75 mm de diámetro a diferentes alturas y

perforaciones de 10mm de diámetro cada uno y con un largo de 9 metros, en la figura 26 se muestra el detalle del dispositivo. Este dispositivo se encuentra patentado por la Universidad del Bío-Bío.

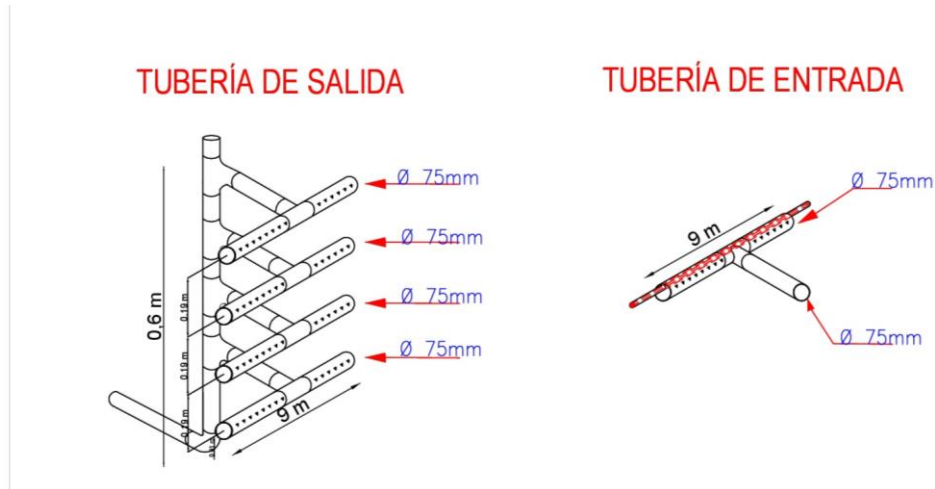


Figura 26: Dispositivos de entrada y salida del humedal.
Fuente: Elaboración propia.

4.7.6 Instalación de plantas.

Las plantas fueron extraídas de un humedal ya existente. El tipo de planta es una espadaña (typha), que se caracteriza por ser una planta de gran resistencia y adaptación a cualquier medio.



Figura 27: Espadañas extraídas del humedal existente.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 28: Extracción de espadañas.

Fuente: Elaboración propia.

Estas plantas fueron colocadas uniformemente por toda el área del humedal, a una profundidad aproximada de 15 cm aproximadamente.

4.8 Aspectos positivos de la construcción del humedal

Se debe partir de la situación actual que es considerada la más pesimista, donde las aguas residuales tratadas de mediana calidad son infiltradas, esta mediana calidad tiene que ver con el hecho que la planta actual esta subdimensionada, ahora a partir de esta nueva situación se plantean la gestión de las aguas residuales tratadas con otra plataforma, primero la calidad del efluente de un humedal es más depurado, prácticamente no posee materia particulada, no hay presencia de solidos suspendidos, con este antecedente ya se mejora la actual situación, por otra parte se contempla el uso de estas aguas para el regadío de áreas verdes de la comunidad, en el entorno próximo a la planta se tiene una vasta zona con vegetación que sumado al área de la planta se utilizara como zona de infiltración por irrigación, lo que permitirá mejorar sustancialmente la condición actual, esta situación será monitoreada en forma permanente y comparada con la situación actual. Se debe tener presente que el objetivo final es de un mejoramiento de la condición hídrica y ambiental actual de la comunidad.

5. CONCLUSIONES

Se concluye que es factible técnicamente la conversión de una planta de lodos activos a un humedal artificial.

Infraestructura y equipamiento de las plantas de lodos activos pueden ser reutilizadas y ser parte del tratamiento de humedales artificiales como tratamiento primario.

No es necesario la utilización de tecnologías tan complejas como lo son las plantas de lodos activos para pequeñas localidades, cuando se pueden implementar tecnologías de mas fácil manejo operacional como humedales artificiales de flujo subsuperficial.

Se recomienda que en todas aquellas plantas de lodos activos que presentan problemas en la actualidad, sean convertidas en humedales de flujo subsuperficial.

6. REFERENCIAS

1. D'apollonio, Constanza. (2015). Evaluación térmica y de oxígeno disuelto en el humedal Ainahue en función del dispositivo de salida. Concepción: s.n., 2015.
2. Colombo, Loredana. (2015). Proceso constructivo de un humedal de flujo sub superficial para tratar aguas del centro recreativo Ainahue. Universidad del Bio Bio. Concepción: s.n., 2015.
3. Cisterna, Pedro. (2004). Ingeniería y tratamiento de aguas residuales. 2004.
4. Arrollo, Marcelo. (2016). Evolución de un humedal familiar de flujo subsuperficial que trata aguas servidas. Concepción: s.n., 2016.
5. Fuentes, Ignacio. (2013). Análisis del rendimiento en remoción de dos humedales con distintas soluciones hidrodinámicas. Concepción: s.n., 2013.
6. Nova, Mauricio. (2016). Evaluación de la incidencia del medio granular en un humedal subsuperficial en el proceso de remoción de nutrientes: s.n., 2016.
7. Droste, Ronald L. (1997). Theory and practice of water and wastewater treatment, Jhon Willwy & Sons. 1997.
8. Ramalho, Rubens. (1996). *Tratamiento de aguas residuales*. s.l.: Reverte, 1996.
9. Lara, Jaime. (1999). Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales. Barcelona: s.n., 1999.
10. Manantial S.A. (2004). Memoria Técnica Planta de tratamiento de aguas servidas Tomeco, Comuna de Yumbel. Santiago, pp.1-18.
11. Lara, J. (1999). Depuración de aguas residuales urbanas mediante humedales artificiales [tesis de maestría], Barcelona, Universidad Politécnica de Cataluña, Máster en ingeniería y gestión ambiental.
12. Henze M. (1995). "Wastewater, volumes and composition: Biological and chemical process, Wastewater Treatment", Springer-Verlag, Berlin, 1995.
13. Steiner, G. R. (1993). "Construction and operation guidelines for small constructed wetlands". Wastewater Treatment systems.