

UNRN – Especialización en Tratamiento de Efluentes y Residuos Orgánicos

COMPARACIÓN DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES PARA UN HOTEL EN AMBIENTE URBANO. DIMENSIONAMIENTO DEL PROCESO SELECCIONADO.

Alumna: Gisela Zanuttín

Directora de Tesis: Beatriz Verniere

San Carlos de Bariloche – Febrero 2018

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a mi directora, Ing. Beatriz Verniere, por su ayuda, orientación y contribución en la realización de este proyecto, por mostrarme diferentes puntos de vista para encarar el mismo.

A mi amigo, Ing. Mauro Ferrarese, que siempre estuvo presente durante la organización y redacción del proyecto apoyándome y brindándome sus conocimientos.

A ambos muchas gracias por todo.

RESUMEN

El tratamiento de las aguas residuales es una prioridad para el cuidado del medio ambiente, conservar la calidad de las fuentes de agua y la salud pública. Este trabajo se centró en la selección de un sistema de tratamiento de efluentes para ser instalado en un hotel 5 estrellas que se encuentra ubicado en zona céntrica, para lo que se realizó una breve descripción de los diferentes tratamientos de efluentes aerobios y anaerobios, un cuadro comparativo entre los principales parámetros de los mismos y el dimensionamiento de un tratamiento aerobio y uno anaerobio utilizando como referencia las características y resultados de los análisis del efluente crudo del hotel. Teniendo en cuenta lo antes mencionado, se realizó la presentación ambos dimensionamientos a la gerencia del hotel y se seleccionó el tratamiento considerado más adecuado para el hotel. La efectividad del tratamiento se determinó por los valores finales de vuelco al cuerpo receptor. La planta cuenta con un conjunto de módulos que resultan en su funcionamiento apropiado, estos son: un sedimentador primario, un reactor aeróbico y un sedimentador secundario, además la posibilidad de reutilizar el agua para riego del predio clorando la misma.

Palabras clave: *Sistema aeróbico, sistema anaeróbico, tratamiento de aguas residuales, lodos.*

ABSTRACT

Treatment of wastewater is a priority for the care of the environment, preserving the quality of water sources and public health. This work focused on the selection of an effluent treatment system to be installed in a 5-star hotel located in a central area for which a brief description of the different aerobic and anaerobic effluent treatments was made, a comparative table between the main parameters of the same and the sizing of an aerobic and anaerobic treatment using as reference the characteristics and results of the hotel's raw effluent. Taking into account the above mentioned, the presentation was made both sizing to the hotel management and selected the most appropriate treatment for the hotel. The effectiveness of the treatment was determined by the final values of overturning to the receiving body. The plant has a set of modules that result in their proper functioning, these are: a primary settler, an aerobic reactor and a secondary settler, plus the possibility of reusing the water for watering the site by chlorinating it.

Key words: *Aerobic system, anaerobic system, wastewater treatment, sludge*

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	8
1.1 Objetivos.....	9
2. MARCO TEÓRICO	
2.1 Operaciones Físicas Unitarias	15
2.2 Procesos Químicos Unitarios	17
2.3 Procesos Biológicos Unitarios	19
2.3.1 <i>Procesos Biológicos Aeróbicos</i>	22
2.3.1.1 <i>Lodos Activados</i>	24
2.3.1.2 <i>Lagunas de Estabilización</i>	25
2.3.1.3 <i>Filtros Percoladores</i>	26
2.3.1.4 <i>Sistema de Biodiscos</i>	27
2.3.2 <i>Procesos Biológicos Anaeróbicos</i>	28
2.3.2.1 <i>Reactores de Primera Generación</i>	31
2.3.2.2 <i>Reactores de Segunda Generación</i>	34
2.3.2.3 <i>Reactores de Tercera Generación</i>	36
2.4 Tratamiento Terciario.....	37
2.5 Desinfección	38
2.6 Tratamiento de Lodos	40
2.7 Comparación entre Tratamientos Aerobios y Anaerobios	41
3. MARCO EMPÍRICO	
3.1 Parámetros de Dimensionamiento y Cálculos	46
3.1.1 <i>Tratamiento Aerobio</i>	47
3.1.2 <i>Tratamiento Anaerobio</i>	51
3.2 Discusión de Resultados	53
3.3 Elección del Sistema de Tratamiento para el Hotel.....	54
3.3.1 <i>Descripción General del Tratamiento</i>	55
3.4 Conclusiones.....	57
BIBLIOGRAFÍA	58
ANEXO	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Esquema de un tren de tratamiento de aguas residuales	15
Figura 2.2. Representación esquemática del metabolismo bacteriano	20
Figura 2.3. Diagrama básico de una planta de tratamiento aeróbico	23
Figura 2.4. Proceso de lodos activados	25
Figura 2.5. Laguna aerobia al fondo y laguna aireada al frente	26
Figura 2.6. Filtro percolador	27
Figura 2.7. Biodisco o contactor biológico rotativo.....	28
Figura 2.8. Esquema del proceso de la digestión anaeróbica.....	29
Figura 2.9. Esquema de un tratamiento anaeróbico.....	29
Figura 2.10. Laguna de estabilización anaeróbica.....	31
Figura 2.11. Tanque Imhoff.....	32
Figura 2.12. Esquema básico de un digestor anaeróbico	33
Figura 2.13. Cámara séptica	34
Figura 2.14. Filtro anaeróbico de flujo descendente.....	35
Figura 2.15. Reactor de manto de lodo de flujo ascendente.....	36
Figura 2.16. Reactor de lecho expandido o fluidificado.....	37
Figura 3.1. Esquema del tratamiento aeróbico	46
Figura 3.2. Esquema del tratamiento anaeróbico	51
Figura 3.3. Esquema genérico del tratamiento.....	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Características físicas, químicas y biológicas del agua residual y sus procedencias.....	10
Tabla 2.2. Contaminantes de importancia en el tratamiento del agua residual	12
Tabla 2.3. Composición típica de aguas residuales domésticas no tratadas	13
Tabla 2.4. Aplicaciones de las operaciones físicas unitarias en el tratamiento de aguas residuales	16
Tabla 2.5. Aplicaciones de los procesos químicos unitarios en el tratamiento de aguas residuales	18
Tabla 2.6. Principales procesos biológicos utilizados en el tratamiento de agua residual	21
Tabla 2.7. Eliminación de constituyentes por medio de operaciones y procesos de tratamiento avanzados	38
Tabla 2.8. Agentes utilizados para la desinfección de las aguas residuales	39
Tabla 2.9. Características de lodos procedentes de diferentes procesos de tratamiento.....	40
Tabla 2.10. Comparación de los principales parámetros entre tratamientos aerobios y anaerobios	42
Tabla 3.1. Valores típicos de los consumos en establecimientos comerciales.....	44
Tabla 3.2. Características del afluente	45

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas que se presentan en las ciudades turísticas, en los períodos estivales, es el tratamiento de las aguas residuales (AR) (agua que ha sido utilizada y contaminada ya sea por actividad humana, doméstica y/o industrial) debido al incremento de la población estable. El aumento en la generación de las mismas por el elevado grado ocupacional de cabañas, hoteles, la actividad gastronómica e industrial que, sumado al crecimiento propio de la ciudad, sobrepasan la capacidad de su tratamiento en la planta depuradora.

La ciudad de San Carlos de Bariloche, presenta un déficit del sistema de saneamiento desde hace varios años, lo que en ocasiones extremas podría llevar al vuelco de los efluentes sin el tratamiento adecuado al Lago Nahuel Huapi, cuerpo receptor principal de esta ciudad, situación que debe evitarse teniendo en cuenta que los componentes de estas aguas contienen microorganismos patógenos que pueden causar enfermedades, nutrientes que pueden estimular el desarrollo de plantas acuáticas no deseables y compuestos tóxicos, entre otros.

Una planta depuradora es una instalación que puede contar con diferentes módulos combinados entre sí, el agua residual, al ir pasando a través de ellos, es sometida a tratamientos físicos, químicos y/o biológicos, para eliminar en primer lugar los sólidos sedimentables y los sólidos no sedimentables y por último las sustancias disueltas.

Si bien se podría pensar que la solución primaria ante esta situación es la ampliación de la planta depuradora de la ciudad, hay que tener en cuenta que es un proyecto de gran envergadura debido a los costos que insume, los tiempos del proyecto y el espacio necesario, por lo que es primordial buscar soluciones alternativas al problema.

Por este motivo, una solución compensatoria a considerar es el tratamiento de los efluentes por parte de los hoteles y complejos turísticos para lograr una disminución en la carga orgánica antes del volcado de los mismos al cuerpo receptor (troncal cloacal, lagos, ríos, etc). Este tratamiento (que puede ser completo o uno parcial) debe cumplir con los valores de vuelco contemplados en la legislación vigente en la provincia de Río Negro, Ley Nº 2952 Código de Aguas de la Pcia. de Río Negro, Resolución 885 IG-L

Tercero Decreto 1093-15 apéndices de parámetros de vuelco. Anexo V - Límites Máximos Admisibles de Parámetros de Calidad. B – Descarga de Efluentes en Colectores e Infiltración Subterránea.

El sistema de tratamiento de los efluentes es a elección del propietario, debiendo presentar un proyecto para ser aprobado ante las autoridades competentes del tema.

Por lo anteriormente mencionado, se establecieron dos objetivos para este trabajo final.

1.1 Objetivos

- i) Realizar una comparación de sistemas de tratamiento de efluentes aeróbico y anaeróbico y seleccionar la mejor opción para un hotel en ambiente urbano.
- ii) Presentar un dimensionamiento del sistema seleccionado.

2. MARCO TEÓRICO

Los métodos intensivos de tratamiento del agua residual empezaron a desarrollarse debido a su incidencia en la salud pública y a los problemas ocasionados en el medio ambiente por los vertidos de aguas residuales. Para esto, fue esencial el conocimiento de la naturaleza del agua residual (Tabla 2.1.) teniendo en cuenta las características físicas, químicas y biológicas y su procedencia. [Metcalf & Eddy, 1995]

Tabla 2.1. Características Físicas, Químicas y Biológicas del Agua Residual y sus Procedencias^a

Características	Procedencia
Propiedades Físicas:	
Color	Aguas residuales domésticas industriales, desintegración natural de materiales orgánicos
Olor	Agua residual en descomposición, vertidos industriales
Sólidos	Agua de suministro, aguas residuales domésticas e industriales, erosión del suelo, infiltración y conexiones incontroladas
Temperatura	Aguas residuales domésticas e industriales
Constituyentes	
Orgánicos:	
Carbohidratos	Aguas residuales comerciales e industriales
Grasas animales,	Aguas residuales domésticas, comerciales e industriales
Pesticidas	Residuos agrícolas
Fenoles	Vertidos industriales
Proteínas	Aguas residuales domésticas y comerciales
Agentes	Aguas residuales domésticas e industriales
Otros	Desintegración natural de materiales orgánicos
Inorgánicos:	
Alcalinidad	Aguas residuales domésticas, agua de suministro, infiltración del agua
Cloruros	Agua de suministro, aguas residuales domésticas, infiltración de agua
Metales pesados	Vertidos industriales
Nitrógeno	Aguas residuales domésticas y residuos agrícolas
pH	Vertidos industriales
Fósforo	Aguas residuales domésticas e industriales, escorrentía residual
Azufre	Aguas de suministros, aguas residuales domésticas e industriales
Compuestos	Vertidos industriales
Gases:	
Sulfuro de	Descomposición de aguas residuales domésticas
Metano	Descomposición de aguas residuales domésticas

a- Adaptada de Metcalf & Eddy (1995). Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización. Capítulo 3, Características de las Aguas Residuales. Tabla 3.1 (pag 54)

COMPARACIÓN DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES PARA UN HOTEL EN AMBIENTE URBANO. DIMENSIONAMIENTO DEL PROCESO SELECCIONADO.

En un principio los objetivos del tratamiento eran la eliminación de la materia en suspensión y flotantes, el tratamiento de la Materia Orgánica (MO) biodegradable y la eliminación de organismos patógenos. Si bien estos objetivos siguen vigentes y con mayor nivel, hay contaminantes que se consideran de importancia que puede contener el agua residual (Tabla 2.2.), generando problemas de salud, por lo que con el tiempo se han establecido otras metas como la disminución y/o eliminación del nitrógeno, fósforo y eliminación de compuestos orgánicos refractarios y metales pesados, entre otras. [Metcalf & Eddy, 1995]

COMPARACIÓN DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES PARA UN HOTEL EN AMBIENTE URBANO. DIMENSIONAMIENTO DEL PROCESO SELECCIONADO.

Tabla 2.2. Contaminantes de Importancia en el Tratamiento del Agua Residual^a

Contaminantes	Razón de la Importancia
Sólidos en Suspensión	Pueden conducir al desarrollo de depósitos de fango y condiciones anaerobias cuando se vierte agua residual sin tratar al entorno
Materia Orgánica Biodegradable	Compuesta principalmente por proteínas, carbohidratos y grasas animales. Se mide, la mayoría de las veces, en términos de DBO (demanda bioquímica de oxígeno) y en DQO (demanda química de oxígeno). Si se descarga al entorno sin tratar, su estabilización biológica puede llevar al agotamiento de los recursos naturales de oxígeno y al desarrollo de condiciones sépticas.
Patógenos	Pueden transmitirse enfermedades contagiosas por medio de los patógenos presentes en el agua residual.
Nutrientes	Tanto el nitrógeno como el fósforo, junto con el carbono, son nutrientes esenciales para el crecimiento. Cuando se vierten al entorno acuático, estos nutrientes pueden favorecer el crecimiento de una vida acuática no deseada. Cuando se vierten al terreno en cantidades excesivas, también pueden contaminar las aguas subterráneas.
Contaminantes Prioritarios	Son compuestos orgánicos o inorgánicos determinados en base a su carcinogenicidad, mutagenicidad, teratogenicidad o toxicidad aguda conocida o sospechada. Muchos de ellos se hallan presentes en el agua residual.
Materia Orgánica Refractaria	Tiende a resistir los métodos convencionales de tratamiento. Ejemplos típicos son los agentes tensoactivos, los fenoles y los pesticidas agrícolas.
Metales Pesados	Son frecuentemente añadidos al agua residual en el curso de algunas actividades industriales y comerciales, puede ser necesario eliminarlos si se pretende reutilizar el agua residual.
Sólidos Inorgánicos Disueltos	Los constituyentes inorgánicos tales como el calcio, sodio y sulfatos, se añaden al agua de suministro como consecuencia del uso de la misma y es posible que se deban eliminar si se quiere reutilizar el agua residual.

a- Adaptada de Metcalf & Eddy (1995). Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización. Capítulo 3, Características de las Aguas Residuales. Tabla 3.2 (pag 56)

Si bien en la bibliografía de la cual se extrae la tabla 2.2. se considera que puede ser necesaria la eliminación de los metales pesados para reuso del agua, otros autores sugieren la necesidad de eliminación de los mismos antes del vertido del agua depurada a su receptor final para evitar la contaminación del medio receptivo y la bioacumulación en los seres vivos. [Armando Marín Ocampo, Manuel Osés Pérez, 2013; Ing. Ricardo Rojas

COMPARACIÓN DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES PARA UN HOTEL EN AMBIENTE URBANO. DIMENSIONAMIENTO DEL PROCESO SELECCIONADO.

Coordinador de Proyectos Especiales, 2002; Secretariado Alianza por el Agua / Ecología y Desarrollo, 2014]

Este interés en hacer más efectivo el tratamiento del agua residual con el fin de mejorar la calidad de las aguas superficiales, se dio debido a una mejor comprensión de los efectos causantes del vertido de las aguas crudas o parcialmente tratadas, en el medioambiente. El conocimiento más profundo de los efectos adversos causados a largo plazo por la descarga de algunos de los constituyentes específicos del agua residual (Tabla 2.3.), la protección del medio ambiente, la conservación de los recursos naturales y la posibilidad de reutilizar el agua residual tratada. [Metcalf & Eddy, 1995]

Tabla 2.3. Composición Típica de Aguas Residuales Domésticas No Tratadas. (Todos los valores excepto los sólidos sedimentables se expresan en mg/L)^a

Constituyente	Concentración		
	Fuerte	Media	Débil
Sólidos totales	1200	720	350
Disueltos totales	850	500	250
Fijos	525	300	145
Volátiles	325	200	105
En suspensión totales	350	220	100
Fijos	75	55	20
Volátiles	275	165	80
Sólidos sedimentables (ml/L)	20	10	5
Demanda bioquímica de oxígeno a 5 días y 20°C (DBO ₅ 20°C)	400	220	110
Carbono orgánico total (COT)	290	160	80
Demanda química de oxígeno (DQO)	1000	500	250
Nitrógeno (total como N)	85	40	20
Orgánico	35	15	8
Amoníaco Libre	50	25	12
Nitritos	0	0	0
Nitratos	0	0	0
Fósforo (total como P)	15	8	4
Orgánico	5	3	1
Inorgánico	10	5	3
Cloruros ^b	100	50	30
Sulfatos ^b	50	30	20
Alcalinidad (como CaCO ₃) ^b	200	100	50
Grasa	150	100	50

a- Tomada de Metcalf & Eddy (1995). Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización. Capítulo 3, Características de las Aguas Residuales. Tabla 3.16 (pag 125)

b- Los valores deberían incrementarse en la cantidad correspondiente contenida en el agua de suministro

Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado, se pueden considerar diferentes formas de tratamiento de las aguas residuales para modificar, reducir y/o eliminar las propiedades fisicoquímicas o biológicas de los componentes del residuo, para poder alcanzar los niveles establecidos para la descarga al cuerpo receptor y evitar causar daño al medio ambiente y la salud. Además es importante tener en cuenta la posibilidad de la reutilización del agua luego del tratamiento.

Por lo tanto, el tratamiento necesario para la eliminación de los contaminantes en el agua residual, se puede determinar teniendo en cuenta las características del efluente crudo con respecto a las exigencias del efluente tratado, siendo los procesos empleados químicos, físicos y/o biológicos que a su vez, individualmente, suelen clasificarse como operaciones físicas unitarias, procesos químicos unitarios y procesos biológicos unitarios. Los procesos biológicos, a su vez pueden ser aeróbicos o anaeróbicos.

Estas operaciones y procesos agrupados entre sí, constituyen el pre tratamiento (desbaste), el tratamiento primario, el cual contempla básicamente el uso de operaciones de carácter físico tales como la sedimentación y flotación y el tratamiento secundario, considerado el más importante donde se realizan procesos biológicos y químicos para eliminar la mayor parte de la materia orgánica que no decanta. En algunos casos se incluye el tratamiento terciario, para remover esencialmente nutrientes cuya remoción con el tratamiento secundario no es significativa. [Fundación Universitaria Iberoamericana [Carmen L. Rodríguez Velasco, Silvia Pueyo Villa 2011; Alejandro Mauricio Hammeken Arana, Eduardo Romero García, 2005]

En la figura 2.1. se muestra de forma general un esquema de tratamiento de aguas residuales donde, además de lo anteriormente mencionado, se incorporan el tratamiento de lodos y la desinfección.

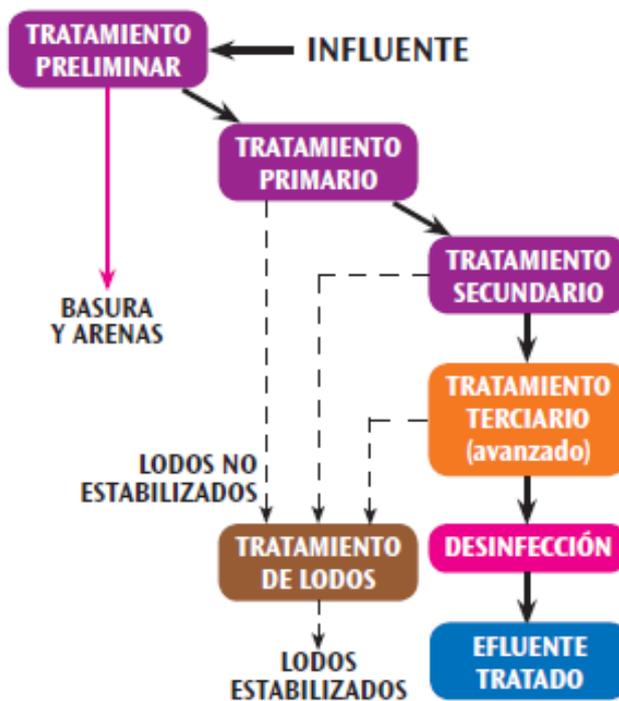


Figura 2.1. Esquema de un Tren de Tratamiento de Aguas Residuales. [Armando Marín Ocampo, Manuel Osés Pérez, 2013]

A continuación se presenta una breve descripción de las diferentes operaciones y procesos unitarios para el tratamiento de las aguas residuales

2.1 Operaciones Físicas Unitarias

En este tratamiento predomina la acción de fuerzas físicas y fueron los primeros en ser aplicados al tratamiento de las aguas residuales. Se utiliza para la preparación o acondicionamiento de las aguas residuales para proteger las instalaciones, eliminando lo grueso que puedan acarrear estas aguas como ser sólidos, arena, gravilla, aceites, etc. Son operaciones físicas unitarias típicas el desbaste, mezclado, floculación, flotación, transferencia de gases, filtración y sedimentación; con respecto a esta última, un buen diseño puede llevar a una eficiencia en el orden del 50 al 70% en remoción de sólidos, del 25 al 40% para la DBO y 25 al 75% de bacterias. [Metcalf & Eddy, 1995; Ing. Ricardo Rojas, 2002]

COMPARACIÓN DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES PARA UN HOTEL EN AMBIENTE URBANO. DIMENSIONAMIENTO DEL PROCESO SELECCIONADO.

En la tabla 2.4. se presenta una breve descripción de la aplicación de cada una de estas operaciones.

Tabla 2.4. Aplicaciones de las Operaciones Físicas Unitarias en el Tratamiento de Aguas Residuales^a

Operación	Aplicación
Medición del Caudal	Control y seguimiento de procesos, informes de descargas
Desbaste	Eliminación de sólidos gruesos y sedimentables por intercepción. Pueden ser rejas, tamices, telas metálicas entre otros (retención en superficie)
Dilaceración	Trituración de sólidos gruesos hasta conseguir un tamaño más o menos uniforme.
Homogeneización del Caudal	Homogeneización del caudal para que sea constante o casi constante, homogeneización de las cargas de DBO y de sólidos en suspensión.
Mezclado	Mezclado de productos químicos y gases con el agua residual, mantenimiento de los sólidos en suspensión. Pueden clasificarse en continuas y rápidas continuas
Floculación	Provoca la agregación de pequeñas partículas aumentando el tamaño de las mismas, para mejorar su eliminación por sedimentación por gravedad.
Sedimentación	Eliminación de sólidos sedimentables pudiendo ser discreta, floculenta, retardada y por compresión. Espesado de fangos.
Flotación	Eliminación de sólidos en suspensión finamente divididos y de partículas con densidades cercanas a la del agua introduciendo finas burbujas de gas en la fase líquida. También espesa los fangos biológicos.
Filtración	Eliminación de los sólidos en suspensión residuales presentes después del tratamiento químico o biológico.
Microtamizado	Mismas funciones que la filtración, considerando un menor tamaño de poros en los tamices. También la eliminación de las algas de los efluentes de las lagunas de estabilización.
Transferencia de gases	Adición y eliminación de gases.
Volatilización y arrastre de gases	Emisión de compuestos orgánicos volátiles y semivolátiles del agua residual.

a- Adaptada de Metcalf & Eddy (1995). Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización. Capítulo 6, Operaciones Físicas Unitarias. Tabla 6.1 (pag 223)

2.2 Procesos Químicos Unitarios

En estos procesos, una de las opciones para la eliminación o conversión de los contaminantes es a través del agregado de un producto químico, también puede producirse por medio de una reacción química espontánea. Algunos ejemplos de estos procesos que más se utilizan en los tratamientos de agua residual son la precipitación, adsorción, desinfección.

El precipitado formado con la precipitación química, puede contener constituyentes que reaccionan con las sustancias químicas agregadas más las que son arrastradas a medida que éste sedimenta, y es eliminado por sedimentación en los decantadores, es un proceso que de realizarse de forma natural es necesario disponer de grandes superficies y tiempos de retención elevados. El agregado de productos químicos permite acelerar y optimizar el proceso de decantación mejorando la calidad del agua tratada. [Metcalf & Eddy, 1995; Carmen L. Rodríguez Velasco, Silvia Pueyo Villa, 2011]

Con este proceso se puede llegar a eliminar del 80 al 90% de sólidos que se encuentran en suspensión, del 70 al 80% de la DBO y del 80 al 90% de bacterias. La adsorción elimina ciertos componentes específicos del agua residual utilizando fuerzas de atracción superficiales. [Metcalf & Eddy, 1995]

En la tabla 2.5. se detallan los procesos y las aplicaciones de cada uno de ellos.

COMPARACIÓN DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES PARA UN HOTEL EN AMBIENTE URBANO. DIMENSIONAMIENTO DEL PROCESO SELECCIONADO.

Tabla 2.5. Aplicaciones de los Procesos Químicos Unitarios en el Tratamiento de Aguas Residuales^a

Proceso	Aplicación
Precipitación Química	Eliminación de fósforo y aumento de la eliminación de sólidos en suspensión en instalaciones de sedimentación primaria utilizada en el tratamiento fisicoquímico.
Transferencia de gases	Adición y eliminación de gases.
Adsorción	Eliminación de la materia orgánica no eliminada por el tratamiento químico y biológico convencional. También se utiliza para la decoloración del agua residual antes del vertido final y la eliminación de los olores.
Desinfección	Destrucción selectiva de los organismos causantes de enfermedades. Puede realizarse a través de agentes químicos, físicos, medios mecánicos y radiación.
Desinfección con Cloro	Destrucción selectiva de organismos causantes de enfermedades. El cloro es el producto químico más comunmente utilizado pudiendo ser como gas, hipoclorito de sodio, hipoclorito de calcio y el dióxido de cloro. Además se puede utilizar para el control de olores, producción de sulfuro de hidrógeno y control del bulking en los fangos activados.
Decoloración	Eliminación del cloro combinado residual total remanente después de la cloración para disminuir los efectos tóxicos de los efluentes (puede realizarse de diversas maneras siendo el reactivo más comunmente utilizado el dióxido de azufre, también se puede utilizar carbón activado).
Desinfección con Dióxido de Cloro	Bactericida, alto poder de desinfección en la inhibición e inactivación de virus (baja utilización por alto coste económico).
Desinfección con Ozono	Destrucción selectiva de los organismos causantes de enfermedades (bacterias y virus). También se emplea para la eliminación de olores y materia orgánica soluble refractaria. Eleva la concentración del oxígeno disuelto en el efluente.
Desinfección con rayos ultravioletas	Eficaz en la eliminación de bacterias y virus en aguas residuales sin altas concentraciones de sólidos. No contribuye a la formación de compuestos tóxicos.
Otros	Pueden usarse diversos productos químicos para llevar a cabo objetivos específicos en el tratamiento de agua residual como hidróxido de potasio, de calcio y de sodio entre otros.

a- Adaptada de Metcalf & Eddy (1995). Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización. Capítulo 7, Procesos Químicos Unitarios. Tabla 7.1 (pag 344)

2.3 Procesos Biológicos Unitarios

Los procesos biológicos son los tratamientos más utilizados para la remoción de la MO, en estos tratamientos intervienen agentes vivos, principalmente bacterias, que degradan la materia para lo cual se produce un intercambio continuo de sustancia y energía y cuyos objetivos son la coagulación y eliminación de los sólidos coloidales no sedimentables y la estabilización de la MO. [Metcalf & Eddy, 1995; Menéndez Gutiérrez Carlos, Pérez Olmo Jesús M. 2007]

La depuración biológica se produce por la biofloculación (fenómeno físico-biológico) y el metabolismo bacteriano (biológico), los cuales a su vez, en función de su metabolismo, se dividen en sistemas biológicos aeróbicos y anaeróbicos. La biofloculación es un proceso mediante el cual se forman los flóculos de materia en el agua a tratar, no se produce una variación química en los contaminantes, es un paso de forma suspendida no sedimentable a sedimentable. El metabolismo bacteriano (Figura 2.2.) consiste en la utilización, por parte de las bacterias, de la materia orgánica como fuente de energía y carbono para generar nueva biomasa. A través del catabolismo, la MO es metabolizada y se produce liberación de energía, a su vez ocurre un proceso denominado anabolismo donde parte de la materia orgánica se transforma en nuevo material celular con consumo de energía; este proceso solo ocurre si se produce el catabolismo y éste ocurre solo en presencia de una población bacteriana viva. [Carmen L. Rodríguez Velasco, Silvia Pueyo Villa, 2011; Ing. Jenny Alexandra Rodríguez V. 1997]

COMPARACIÓN DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES PARA UN HOTEL EN AMBIENTE URBANO. DIMENSIONAMIENTO DEL PROCESO SELECCIONADO.

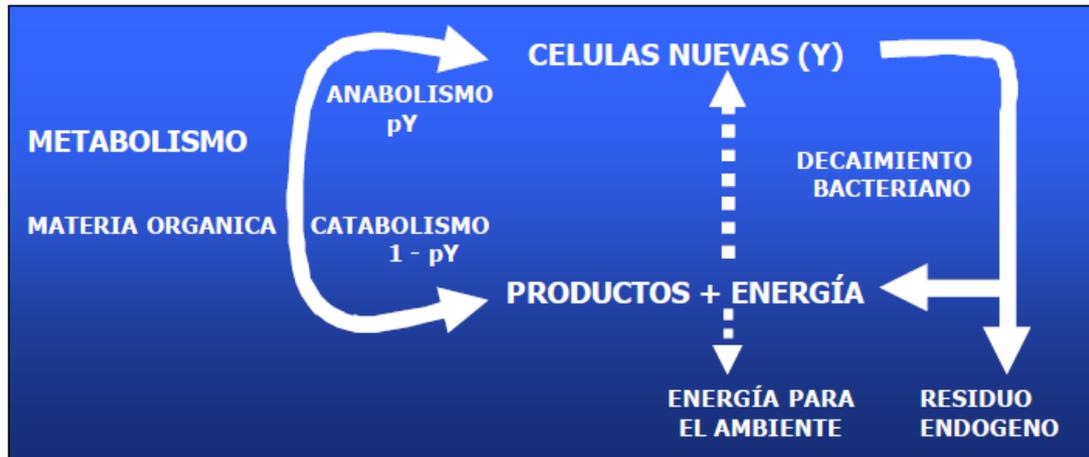


Figura 2.2. Representación Esquemática del Metabolismo Bacteriano. [Ing. Jenny Alexandra Rodríguez V. 1997]

Por lo tanto, para que la purificación biológica sea efectiva, el agua residual a tratar debe contener compuestos orgánicos biodegradables, los cuales también pueden ser no tóxicos o tóxicos a altas concentraciones. Un agua residual en la que todos sus constituyentes son biodegradables no tóxicos o solamente tóxicos a altas concentraciones, tiene una relación DBO_5/DQO (demanda biológica de oxígeno/demanda química de oxígeno) en el intervalo de 0,55 - 0,70, lo que indica una buena posibilidad del tratamiento biológico de un agua residual dada. Cuanto más baja es esta relación, mayor es la proporción de compuestos no degradables, y si la relación es 0,2 o menor, el agua residual está constituida, fundamentalmente, por compuestos no degradables por medios biológicos con lo cual la purificación biológica sola no es suficiente. [Menéndez Gutiérrez Carlos, Pérez Olmo Jesús M. 2007]

Por DQO se entiende que es la cantidad de oxígeno necesaria para la destrucción de la MO por medio de una oxidación química y proporciona indirectamente la concentración de la MO en el agua residual. La DBO_5 es la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar biológicamente la MO fácilmente biodegradable en 5 días a 20°C. [Ing. Ricardo Rojas, 2002]

En la tabla 2.6. se detallan los principales procesos biológicos utilizados.

COMPARACIÓN DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES PARA UN HOTEL EN AMBIENTE URBANO. DIMENSIONAMIENTO DEL PROCESO SELECCIONADO.

Tabla 2.6. Principales Procesos Biológicos Utilizados en el Tratamiento de Agua Residual^a

Tipo	Nombre Común	Uso^b
Procesos Aerobios:		
Cultivo en Suspensión	Proceso de fangos activados:	
	Convencional (flujo pistón)	Eliminación de la DBO carbonosa (nitrificación)
	Tanque de mezcla completa	
	Aireación graduada	
	Oxígeno puro	
	Aireación modificada	
	Contacto y estabilización	
	Aireación prolongada	
	Canales de oxidación	
	Nitrificación de cultivos en suspensión	Nitrificación
Lagunas aireadas	Eliminación de la DBO carbonosa (nitrificación)	
Digestión aerobia:	Aire convencional	Estabilización, eliminación de la DBO carbonosa
	Oxígeno puro	
	Estanques aerobios de alta carga	Eliminación de la DBO carbonosa
Cultivo Fijo	Filtros percoladores:	
	Baja carga	Eliminación de la DBO carbonosa (nitrificación)
	Alta carga	
	Filtros de pretratamiento	Eliminación de la DBO carbonosa
	Sistemas biológicos rotativos de contacto (biodiscos)	Eliminación de la DBO carbonosa (nitrificación)
Reactores de lecho compacto	Nitrificación	
Procesos Combinados	Filtros percoladores, fangos activados Fangos activados, filtros percoladores	Eliminación de la DBO carbonosa (nitrificación)
Procesos Anóxicos:		
Cultivo en Suspensión	Desnitrificación con cultivo en suspensión	Desnitrificación
Cultivo Fijo	Desnitrificación con cultivo fijo	Desnitrificación
Procesos Anaerobios:		
Cultivo en Suspensión	Digestión Anaerobia:	
	Baja carga, una etapa	Estabilización, eliminación de la DBO carbonosa
	Alta carga, una etapa	
	Doble etapa	
	Proceso anaerobio de contacto	Eliminación de la DBO carbonosa
Cultivo Fijo	Filtro anaerobio	Eliminación de la DBO carbonosa, estabilización (desnitrificación)
	Lagunas anaerobias (estanques)	Eliminación de la DBO carbonosa (estabilización)
Procesos Aerobios, Anóxicos o Anaerobios		
Cultivo en Suspensión	Fase única, nitrificación-desnitrificación	Eliminación de la DBO carbonosa, nitrificación, desnitrificación
Crecimiento Vinculado Procesos Combinados de Cultivo Fijo	Nitrificación-desnitrificación	Nitrificación, desnitrificación
	Estanques facultativos	Eliminación de la DBO carbonosa
	Estanques de maduración	Eliminación de la DBO carbonosa (nitrificación)
	Estanques anaerobios-facultativos Estanques anaerobios-facultativos-aerobios	Eliminación de la DBO carbonosa

a- Adaptada de Metcalf & Eddy (1995). Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización. Capítulo 8, Procesos Biológicos Unitarios. Tabla 8.6 (pag 432-433)

b- El uso principal se expone en primer lugar, entre paréntesis se exponen otros usos

Tal como se mencionase anteriormente, si bien estos procesos biológicos necesitan de la acción de los microorganismos para poder realizar la degradación de la MO, no es necesario realizar la inoculación de cultivos diseñados para los mismos ya que se pueden obtener aislándolos directamente de los lodos producidos por el mismo tratamiento utilizado y si éstos no tienen en un principio la mezcla o la cantidad necesaria de organismos, de forma natural, luego de varios ciclos se van ajustando las poblaciones de modo que los microorganismos necesarios acaban dominando el medio mientras que los demás desaparecen.

Un tema a tener en cuenta en estos procesos es la presencia de algas y hongos que si bien se considera accidental entorpecen el tratamiento. Si bien las algas no causan daños relevantes, se acumulan en la parte superficial de los reactores y deben ser removidas, en cambio los hongos originan formas filamentosas que obstaculizan la formación de flóculos influyendo de forma negativa en el proceso ya que empeoran las características de la sedimentabilidad por lo que ambos deben evitarse.

[Carmen L. Rodríguez Velasco, Silvia Pueyo Villa, 2011]

En el presente trabajo se hará referencia a los procesos biológicos Aerobios y Anaerobios para tratamiento de efluentes aunque existen cinco grandes grupos:

- Procesos Aerobios
- Procesos Anóxicos
- Procesos anaerobios
- Procesos Anaerobios, Anóxicos o Aerobios Combinados
- Procesos en Estanques o Lagunajes

2.3.1 Procesos Biológicos Aeróbicos

En estos procesos se llevan a cabo reacciones catabólicas oxidativas para lo cual se requiere la presencia de un oxidante que si no está presente en el agua residual hay que incorporarlo de forma artificial. El oxidante más utilizado es el oxígeno, fundamental para que los microorganismos puedan actuar sobre la materia orgánica e inorgánica presente en el agua residual y

COMPARACIÓN DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES PARA UN HOTEL EN AMBIENTE URBANO. DIMENSIONAMIENTO DEL PROCESO SELECCIONADO.

transformarla en gases y materia celular para que se puedan separar por sedimentación, por lo que uno de los factores más importantes en estos sistemas es la energía requerida para suministrar las cantidades necesarias de aire, lo que implica altos costos operacionales y como la mayor parte de la MO es convertida en lodo se debe tener en cuenta la estabilización del mismo por el alto contenido de material vivo. [Carmen L. Rodríguez Velasco, Silvia Pueyo Villa, 2011; Ing. Jenny Alexandra Rodríguez V.1997]

En forma general, una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) se compone de un sistema de desbaste que puede ser una reja o un filtro tamiz, un sedimentador primario, un reactor biológico seguido por un sedimentador secundario y luego una desinfección (en algunos casos se incluye un tratamiento terciario).

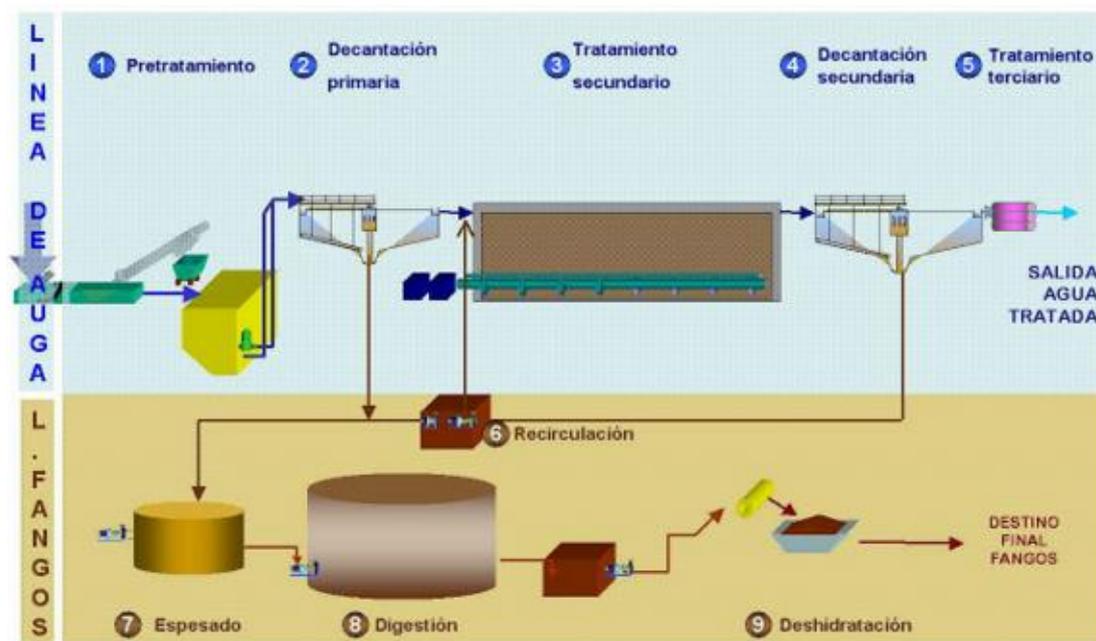


Figura 2.3. Diagrama Básico de una Planta de Tratamiento Aeróbico.

<http://crashoil.blogspot.com.ar/2012/12/agua.html>

Algunos de los principales procesos biológicos aerobios que se pueden aplicar al tratamiento de aguas residuales son los lodos o fangos activados donde es necesaria la incorporación de oxígeno, lagunas de estabilización con o sin incorporación de oxígeno, filtros percoladores los cuales pueden

necesitar incorporación de oxígeno forzado y sistema de biodiscos. [Elida Nodal Becerra, 2000]

A continuación se detallan brevemente los procesos anteriormente mencionados

2.3.1.1 Lodos Activados

Su nombre proviene de la producción de una masa activada de microorganismos capaz de estabilizar un residuo por vía aerobia. En este proceso el residuo orgánico entra a un reactor donde es completamente mezclado con una masa biológica en suspensión y se agrupan formando flóculos con buenas propiedades de sedimentación, elemento principal para la purificación de las aguas residuales. Es indispensable proporcionar aire por medios mecánicos superficiales o sopladores sumergidos, los cuales tienen la función de producir una mezcla completa y agregar el oxígeno al medio para que el proceso se desarrolle. Mediante este proceso los compuestos orgánicos contenidos en las aguas residuales son utilizados como sustratos alimenticios. La eficiencia de la remoción de la DBO es muy buena. [Armando Marín Ocampo, Manuel Osés Pérez, 2013; Menéndez Gutiérrez Carlos, Pérez Olmo Jesús M. 2007]

Dentro de los problemas más frecuentes en este proceso se encuentran los fangos voluminosos que poseen pobres características de sedimentabilidad y compactabilidad, el fango ascendente que aunque de buenas características de sedimentabilidad flota después de un período de sedimentación relativamente corto y la nocardia que es la formación de espuma viscosa de color marrón provocando efluentes de baja calidad y malos olores. [Elida Nodal Becerra, 2000]



Figura 2.4. Proceso de Lodos Activados.[Armando Marín Ocampo, Manuel Osés Pérez, 2013]

2.3.1.2 Lagunas de Estabilización

Son sistemas que se utilizan para estabilizar aguas residuales o desechos orgánicos. Es una estructura simple constituida por embalses artificiales abiertos a la acción del sol y del aire, con una profundidad entre 1 y 4 m y períodos de retención de entre 1 a 40 días, son de fácil construcción con respecto a otros sistemas de tratamiento. Son sistemas de bajo costo, tienen buena reducción de la DBO_5 y pueden ser usadas para el retiro de nitrógeno y fósforo, reducción de metales pesados, compuestos orgánicos tóxicos y destrucción de patógenos. Para esto último las mayores remociones se logran cuando se está en presencia de altos tiempos de retención, baja turbiedad, alto pH y bajos valores de DBO_5 . Para el control de estos procesos es determinante la temperatura ambiental y el tiempo de retención, se requiere de un área muy grande para su construcción y si se sobrecarga despide olores haciendo que no se pueda colocar cerca de comunidades o centros urbanos. Además se deben evitar las pérdidas excesivas por infiltración. [Armando Marín Ocampo, Manuel Osés Pérez, 2013; Elida Nodal Becerra, 2000]

Estas lagunas pueden trabajar con o sin la incorporación de oxígeno, en las lagunas aerobias el oxígeno es suministrado por la acción fotosintética de las algas por lo que es esencial la luz solar y por el que se difunde del aire, son de poca profundidad ya que está por la limitación de la penetración de la luz y se emplean para el tratamiento de las aguas residuales por medios

COMPARACIÓN DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES PARA UN HOTEL EN AMBIENTE URBANO. DIMENSIONAMIENTO DEL PROCESO SELECCIONADO.

de procesos naturales que incluyen el uso de bacterias y algas. Las principales reacciones que pueden llevarse a cabo durante la estabilización en este tipo de lagunas son la degradación aerobia, la fotosíntesis y la nitrificación. Las lagunas aireadas son facultativas en las que se instalaron aireadores de superficie o difusores para eliminar los olores que se producen al estar con sobrecargas orgánicas. El proceso es similar al de fangos activados de acción prolongada. En estas lagunas se puede llevar a cabo el proceso de nitrificación y la efectividad depende del diseño y funcionamiento del sistema como también de la temperatura del agua residual. Es importante en estos sistemas el control de oxígeno y la temperatura ya que influye en la actividad biológica y la eficiencia del tratamiento. [Menéndez Gutiérrez Carlos, Pérez Olmo Jesús M. 2007; Elida Nodal Becerra, 2000]

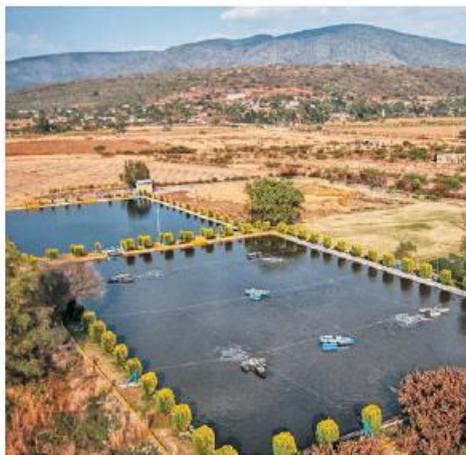


Figura 2.5. Laguna Aerobia al Fondo y Laguna Aireada al Frente. [Armando Marín Ocampo, Manuel Osés Pérez, 2013]

2.3.1.3 Filtros Percoladores

Es un lecho formado por un medio filtrante formado por piedras o diferentes materiales plásticos de relleno al que se adhieren los microorganismos y a través del cual percola el agua residual. La profundidad del lecho varía según el diseño. Los de medio filtrante de piedra suelen ser circulares, los de material plástico pueden ser circulares, cuadrados o de otras formas, el líquido se distribuye en la parte superior de la cama por un distribuidor rotativo. Además, incluyen un sistema de dosificación de las aguas

residuales, un falso fondo y una estructura para contener el embalaje. El relleno de los filtros funciona como un sustrato o soporte para el crecimiento bacteriano. Conforme el agua residual pasa a través del lecho las bacterias se nutren del material orgánico. Para un adecuado funcionamiento del filtro es necesario tener en cuenta las cargas orgánicas e hidráulicas y el grado de tratamiento. [Armando Marín Ocampo, Manuel Osés Pérez, 2013; Elida Nodal Becerra, 2000]



Figura 2.6. Filtro Percolador. [Armando Marín Ocampo, Manuel Osés Pérez, 2013]

2.3.1.4 Sistema de Biodiscos

Consiste de una serie de discos circulares de poliestireno de alta densidad o cloruro de polivinilo, situados sobre un eje a corta distancia unos de otros. Los discos están parcialmente sumergidos en el agua residual y giran lentamente en el seno de la misma, la masa biológica se adhiere a ellos hasta formar una película sobre la superficie de los mismos. La rotación de los discos pone la biomasa en contacto de forma alternativa con la MO del agua residual y la atmósfera para la absorción de oxígeno, de esta manera la biomasa se mantiene en condiciones aerobias. Las aguas residuales fluyen hacia abajo a través del disco y junto con el sistema de rotación, hace que se produzca el desprendimiento del exceso de sólidos quedando en suspensión y puedan ser arrastrados desde el reactor hasta el clarificador. Este sistema puede usarse como tratamiento secundario, nitrificación y desnitrificación estacionales o permanentes. Son construidos en hormigón o acero y se instalan en serie. Son muy fiables debido a la gran cantidad de biomasa presente y les permite resistir mejor las sobrecargas hidráulicas y orgánicas, son fácilmente operables y los costos

de energía son relativamente bajos. [Metcalf & Eddy, 1995; Armando Marín Ocampo, Manuel Osés Pérez, 2013]



Figura 2.7. Biodisco o Contactor Biológico Rotativo (RCB). [Armando Marín Ocampo, Manuel Osés Pérez, 2013]

2.3.2 Procesos Biológicos Anaeróbicos

La descomposición anaerobia es un proceso fermentativo que conduce a la degradación de la MO y su transformación, en ausencia de oxígeno libre ya través de un conjunto de reacciones, en compuestos más simples como el metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2). Se produce en ambientes naturales como pantanos, cultivos de arroz, sedimentos de lagos y mares, zonas anóxicas del suelo, fuentes de aguas termales sulfurosas y el tracto digestivo de los rumiantes. Es un proceso complejo que requiere la intervención de diversos grupos de bacterias facultativas y anaerobias estrictas, las cuales utilizan en forma secuencial los productos metabólicos generados por cada grupo como se muestra en la Figura 2.8. [Menéndez Gutiérrez Carlos, Pérez Olmo Jesús M. 2007; Ing. Jenny Alexandra Rodríguez V. 1997]

COMPARACIÓN DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES PARA UN HOTEL EN AMBIENTE URBANO. DIMENSIONAMIENTO DEL PROCESO SELECCIONADO.

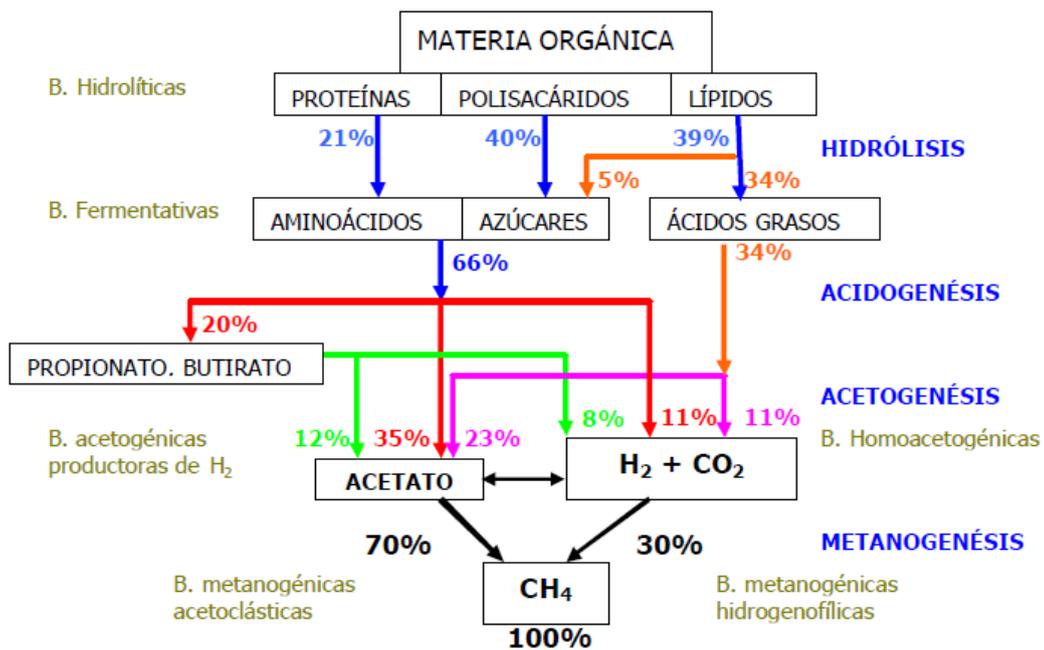


Figura 2.8. Esquema del Proceso de la Digestión Anaerobia [Ing. Jenny Alexandra Rodríguez V. 1997]

De forma general un tratamiento anaerobio se compone de un pretratamiento, el digester anaeróbico y una cámara de desinfección.

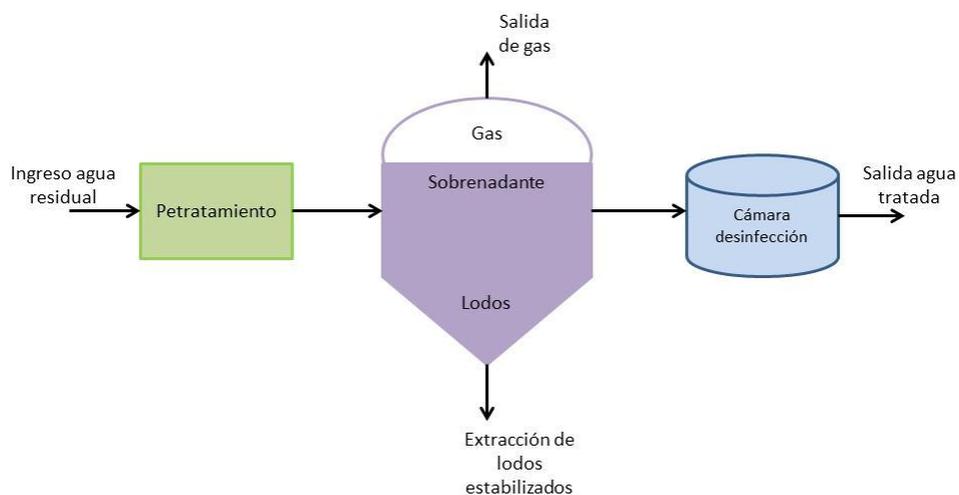


Figura 2.9. Esquema de un Tratamiento Anaeróbico

El reactor está completamente cerrado y es donde se lleva a cabo la digestión anaerobia. El efluente crudo es introducido de forma continua o intermitente permaneciendo en su interior por períodos de tiempo variables. El barro extraído del proceso tiene un bajo contenido en MO y patógenos y

está parcialmente estabilizado. Como todo proceso tiene sus ventajas e inconvenientes, el lento crecimiento de las bacterias formadoras de metano hace que sean necesarios tiempos de retención largos para poder estabilizar los residuos, pero a su vez esto implica que solo una pequeña parte del residuo está siendo sintetizado en forma de nuevas células, la mayor parte se transforma en metano, el cual puede ser utilizado como fuente de energía, la materia sólida resultante, al no estar totalmente estabilizada, necesita de un proceso posterior para su estabilización y eliminación de patógenos, como por ejemplo un compostaje para luego poder ser aplicada al terreno. Cuando no se puede conseguir tiempos de retención celular suficientemente largos, se necesitan altas temperaturas para reducir el tiempo de retención hidráulico (TRH), lo que permite disponer de reactores de menor volumen. [Metcalf & Eddy, 1995]

La digestión anaerobia es utilizada para el tratamiento de aguas residuales, para la estabilización de fangos concentrados provenientes de las mismas, determinados residuos industriales de alta carga orgánica como fango de los purines y tratamiento residual de aguas industriales con una elevada carga contaminante, entre otros. En estos casos no se aplica el tratamiento aerobio por la gran cantidad de oxígeno que se debería suministrar para oxidar la carga orgánica. [Carmen L. Rodríguez Velasco, Silvia Pueyo Villa, 2011]

Las cargas de los digestores anaeróbicos no están limitadas por el suministro de ningún reactivo químico como pasa en los sistemas de tratamiento aerobios. Cuanto más lodo esté siendo retenido en el digestor bajo condiciones operacionales, más altas son las cargas potenciales del sistema, siempre que se pueda mantener un contacto suficiente entre el lodo y el agua. [Metcalf & Eddy, 1995; Carmen L. Rodríguez Velasco, Silvia Pueyo Villa, 2011]

En términos generales, los procesos anaerobios pueden clasificarse en tres generaciones que se caracterizan porque en cada una se reduce el tiempo de retención hidráulico y mejora el contacto entre el lodo y el sustrato.

2.3.2.1 Reactores de Primera Generación

Son aquellos en que la biomasa se encuentra en relativo reposo, el contacto entre biomasa y MO es mínimo y no hay recirculación de sólidos. En este tipo de reactores el tiempo de retención celular es igual al de retención hidráulica. Como ejemplos tenemos las lagunas anaerobias, los digestores convencionales, tanques Imhoff, fosas sépticas. Las lagunas anaerobias se destacan por la ausencia de oxígeno en la mayor parte de la misma y presentan desarrollo de microorganismos anaerobios y facultativos. Se utilizan para el tratamiento de agua residual de alto contenido orgánico con alta concentración de sólidos, esto genera condiciones anaerobias estrictas (oxígeno disuelto ausente) en todo el volumen de agua. Las condiciones climáticas deben ser similares a las de las lagunas aeróbicas. Se debe tener en cuenta un buen diseño para minimizar los problemas de olor. [Armando Marín Ocampo, Manuel Osés Pérez, 2013; Menéndez Gutiérrez Carlos, Pérez Olmo Jesús M. 2007]



Figura 2.10. Laguna de Estabilización Anaeróbica. [Armando Marín Ocampo, Manuel Osés Pérez, 2013]

Los tanques Imhoff integran la sedimentación del agua y la digestión de los lodos sedimentados en la misma unidad. Tiene una forma rectangular con 3 compartimientos, *la cámara de sedimentación* donde se remueve gran parte de los sólidos sedimentables que pasan a *la cámara de digestión de los lodos* a través de la ranura con traslape que tiene la función de impedir que los gases o partículas suspendidas del sólido sean desviados hacia la cámara de natas o área de ventilación y *el área de ventilación* y

acumulación de natas. Tienen una reducción de la DBO_5 baja y eliminación de los sólidos suspendidos media. Como mantenimiento sólo hay que retirar la espuma formada y los lodos de forma periódica. [Armando Marín Ocampo, Manuel Osés Pérez, 2013]

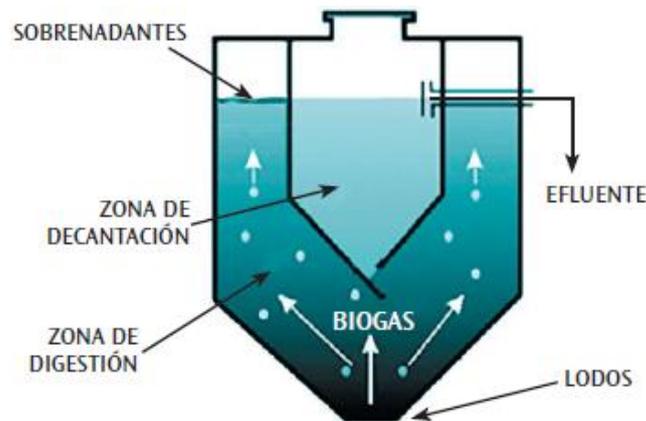


Figura 2.11. Tanque Imhoff. [Armando Marín Ocampo, Manuel Osés Pérez, 2013]

Los digestores convencionales trabajan a flujo discontinuo y al no ser agitados, están estratificados, presentan una capa superior de nata, relativamente inactiva, una capa intermedia con sedimentación de los sólidos y una capa inferior donde se depositan los sólidos digeridos. Son apropiados para el tratamiento de líquidos residuales de alta DBO_5 ya que su remoción es alta. El inconveniente que presentan es que requieren de largos tiempos de retención. [Menéndez Gutiérrez Carlos, Pérez Olmo Jesús M. 2007]



Figura 2.12. Esquema Básico de un Digestor Anaeróbico. [Menéndez Gutiérrez Carlos, Pérez Olmo Jesús M. 2007]

La cámara séptica es un compartimento hermético que funciona por rebalse, a medida que entra el agua residual una cantidad igual sale por el otro extremo. El afluente contiene sólidos pesados que se depositan en el fondo formando una capa de lodo y sólidos livianos que flotan y generan una costra en la superficie del agua. Entre una y otra capa queda una fase líquida. El diseño de la cámara y su mantenimiento es fundamental para que el lodo y la costra queden retenidos y no salgan con efluente. La retención de los sólidos es alta y son digeridos por las bacterias que allí se desarrollan. El agua que sale de la cámara contiene patógenos, nutrientes y otros contaminantes por lo que estos líquidos todavía requieren un tratamiento adicional por ejemplo una infiltración. [Alejandro Mariñelarena, 2006]

COMPARACIÓN DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES PARA UN HOTEL EN AMBIENTE URBANO. DIMENSIONAMIENTO DEL PROCESO SELECCIONADO.

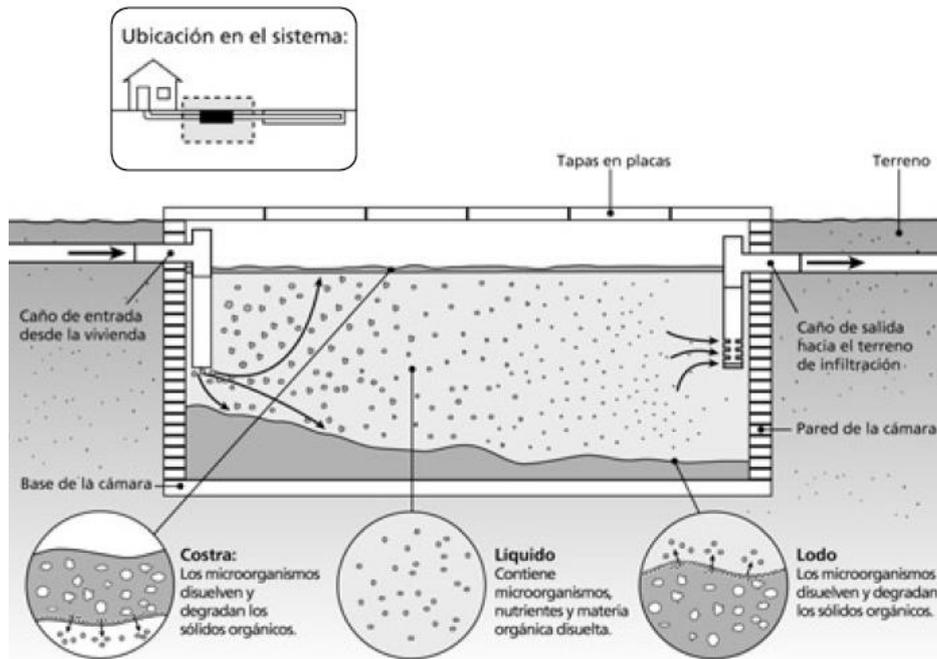


Figura 2.13. Cámara Séptica. [Alejandro Mariñelarena, 2006]

2.3.2.2 Reactores de Segunda Generación

Se caracterizan porque tienen mecanismos para la retención de los lodos, siendo el tiempo de retención celular del TRH independientes el uno del otro. Los microorganismos son retenidos en el reactor por la presencia de un soporte al que se adhieren o bien por su sedimentación. Los dos mecanismos más aplicados son el de inmovilización del lodo por adhesión a material sólido donde se encuentran los filtros anaerobios de flujo ascendente y descendente; el otro mecanismo es el de separación líquido-sólido del efluente, con el retorno de los sólidos separados al reactor, en este punto se ubica el UASB (reactor anaeróbico de manto de lodo de flujo ascendente). [Armando Marín Ocampo, Manuel Osés Pérez, 2013; Menéndez Gutiérrez Carlos, Pérez Olmo Jesús M. 2007]

El filtro anaerobio consiste en una columna rellena de diversos tipos de medios sólidos inertes en el que los microorganismos crecen sobre la empaquetadura. Usualmente se presenta una fracción de biomasa que no se adhiere al medio soporte, sino que permanece atrapada en los espacios libres de la misma. El interior de estos reactores está estratificado debido al poco mezclado que existe dentro de los mismos, siendo la zona de mayor

COMPARACIÓN DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES PARA UN HOTEL EN AMBIENTE URBANO. DIMENSIONAMIENTO DEL PROCESO SELECCIONADO.

actividad de los microorganismos, la del afluente. Los filtros pueden ser de flujo ascendente donde el agua servida es alimentada al filtro a través del fondoo flujo descendente. La elevada concentración de microorganismos dentro del reactor hace que los tiempos medios de retención celular sean muy altos con respecto al TRH obteniéndose altas eficiencias y elevada producción de biogás. [Menéndez Gutiérrez Carlos, Pérez Olmo Jesús M. 2007;Elida Nodal Becerra, 2000]

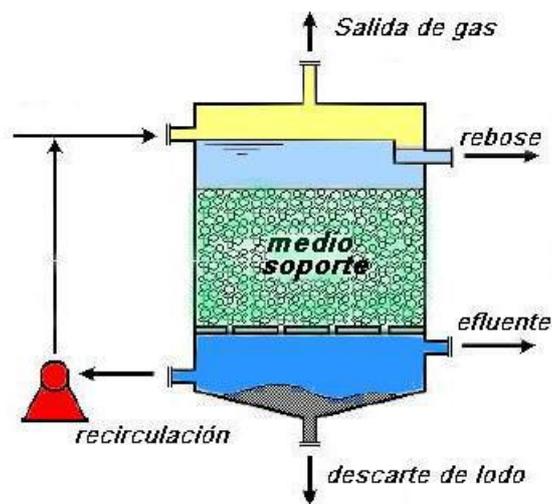


Figura 2.14. Filtro Anaeróbico de Flujo Descendente. [Ing. Pedro E. Ortiz Bardanales, 2014.

Rodrigo Muñoz Couto, 2002]

El reactor de manto de lodo de flujo ascendente (UASB) es una variante de reactores anaeróbicos con el propósito de lograr tratamientos más intensivos al aumentar la edad de los lodos dentro del reactor, condición limitante de la carga permisible y bajar el TRH. Su característica principal está dada por la capacidad que poseen de retener biomasa sin necesidad de un soporte, como consecuencia de la formación de granos o pellets. El agua residual se alimenta por el fondo, se distribuye uniformemente por toda el área y asciende a través del manto biológicamente activo en el que experimenta las transformaciones típicas de la descomposición anaerobia. [Menéndez Gutiérrez Carlos, Pérez Olmo Jesús M. 2007;Grupo AquaLimpia, Julio 2004]

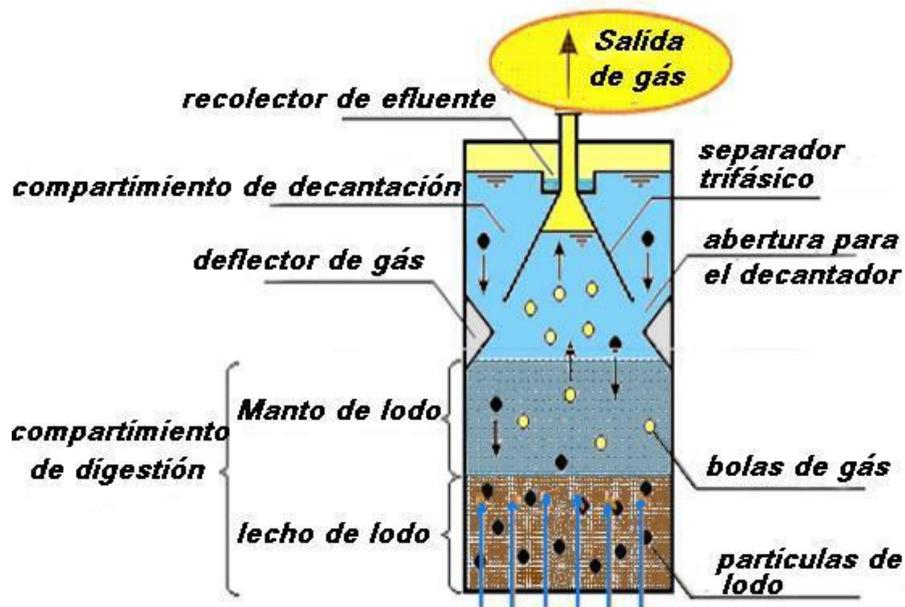


Figura 2.15. Reactor de Manto de Lodo de Flujo Ascendente. [Ing. Pedro E. Ortiz Bardanales, 2014. Rodrigo Muñoz Couto 2002]

2.3.2.3 Reactores de Tercera Generación

Para optimizar el contacto entre el sustrato y la biomasa estos reactores contienen microorganismos en forma de biopelícula adherida a un soporte que se expande o fluidiza mejorando el contacto afluente-biomasa y evita problemas de obstrucciones. Utilizan una corriente de recirculación para provocar un flujo ascendente y mantener fluidizado el lecho de partículas de soporte. Estas partículas pueden ser arena, material plástico o cerámico. El material soporte brinda un gran área superficial sobre la que se adhiere la biopelícula y mantiene una buena sedimentabilidad, garantizando la retención celular. En esta generación se encuentran los reactores de lecho expandido o fluidificado. La diferencia entre ambos reactores está en el grado de expansión del manto de lodo (fluidificación: movimiento de las partículas del lecho se vuelve libre en relación a las demás) [Menéndez Gutiérrez Carlos, Pérez Olmo Jesús M. 2007]

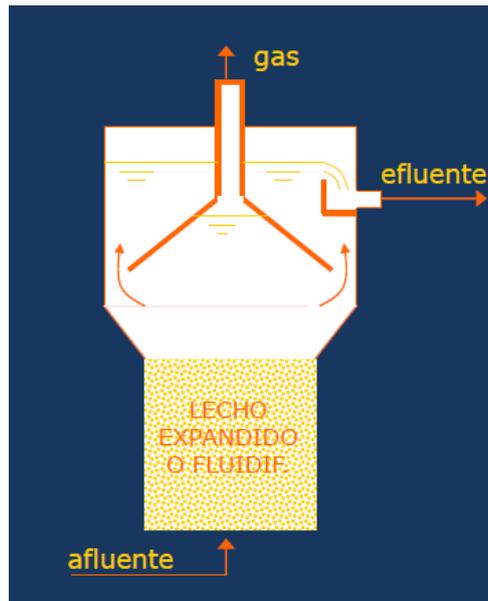


Figura 2.16. Reactor de Lecho Expandido o Fluidificado. [Ing. Pedro E. Ortiz Bardanales, 2014. Rodrigo Muñoz Couto, 2002]

2.4 Tratamiento Terciario

Es un tratamiento avanzado que puede o no estar incluido como una etapa posterior al tratamiento secundario.

Tiene como objeto complementar los procesos mencionados anteriormente, se emplean para lograr efluentes más puros para diversas posibilidades de reutilización de las aguas para lo cual es preciso conseguir efluentes de alta calidad, con menor carga contaminante ya que se logra remover esencialmente nutrientes, compuestos tóxicos, cuya reducción en el tratamiento secundario generalmente no es significativa como ser el fósforo y el nitrógeno entre otros. Este tratamiento emplea combinaciones adicionales de los procesos y operaciones unitarias. En la tabla 2.7. se muestran los procesos u operaciones aplicables para la eliminación de constituyentes. [Ing. Ricardo Rojas, 2002]

COMPARACIÓN DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES PARA UN HOTEL EN AMBIENTE URBANO. DIMENSIONAMIENTO DEL PROCESO SELECCIONADO.

Tabla 2.7. Eliminación de Constituyentes por Medio de Operaciones y Procesos de Tratamientos Avanzados^a

Descripción de la Operación o Proceso	Principal Función de Eliminación
Filtración Microtamices	Eliminación de sólidos suspendidos
Nitrificación biológica	Oxidación de amoníaco
Nitrificación/desnitrificación biológica	Eliminación de nitrógeno
Desnitrificación biológica en etapas separadas	Eliminación de nitratos
Eliminación de fósforo en la línea principal y auxiliar	Eliminación de fósforo biológico
Nitrificación/desnitrificación biológica y eliminación de fósforo	Eliminación biológica conjunta de nitrógeno y fósforo
Arrastre por aire Cloración al breakpoint Intercambio iónico	Eliminación física o química de nitrógeno
Precipitación química con sales metálicas Precipitación química con cal	Eliminación de fósforo por adición de reactivos químicos
Adsorción sobre carbono Fangos activados-carbón activado en polvo Oxidación química	Eliminación de compuestos tóxicos y materia orgánica refractaria
Prcipitación química Intercambio iónico Ultrafiltración Osmosis inversa Electrodialisis	Eliminación de sólidos inorgánicos disueltos
Volatilización y arrastre con gas	Compuestos orgánicos volátiles

a- Adaptada de Alejandro Mauricio Hammeken Arana, Eduardo Romero García (2005). Análisis y diseño de una planta de tratamiento de agua residual para el municipio de San Andrés Cholula. Tabla 2.6 (pag 48) [3]

2.5 Desinfección

En la depuración de aguas residuales, la desinfección puede entenderse como la destrucción selectiva de los organismos potencialmente infecciosos como bacterias, virus y quistes amebianos. Se realiza previo a la disposición final de las aguas tratadas para evitar contaminar el cuerpo receptor poniendo en riesgo la salud y la seguridad de los seres vivos. La desinfección suele realizarse mediante agentes químicos, físicos y

COMPARACIÓN DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES PARA UN HOTEL EN AMBIENTE URBANO. DIMENSIONAMIENTO DEL PROCESO SELECCIONADO.

biológicos, siendo el más usado de ellos el cloro aunque es necesario su control por la generación de subproductos. [Carmen L. Rodríguez Velasco, Silvia Pueyo Villa, 2011; Armando Marín Ocampo, Manuel Osés Pérez, 2013]

En la tabla 2.8. se muestran los agentes más utilizados para la desinfección de las aguas residuales.

Tabla 2.8. Agentes Utilizados para la Desinfección de las Aguas Residuales ^a

Naturaleza del Agente Desinfectante	Tipo de Agente Utilizado
Agentes Químicos	Cloro y derivados Bromo y derivados Yodo Ozono Fenol y compuestos fenólicos Alcoholes Metales pesados y compuestos relacionados Ácidos y álcalis Jabones y detergentes sintéticos Peróxido de hidrógeno Compuestos de amonio cuaternario
Agentes Físicos	Calor Radiaciones (UV, electromagnética, rayos gamma) Sistemas de filtración Sistemas de sedimentación
Agentes Biológicos	Sistemas compuestos por bacterias u otros organismos que por competencia, predación u otro mecanismo eliminan los microorganismos patógenos.

a- Adaptada de Fundación Universitaria Iberoamericana (FUNIBER). Tratamiento de Aguas Residuales Industriales (Maestría en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible). Capítulo 7, Reutilización de Aguas Industriales. Tabla 3.7 (pag 305).[2]

2.6 Tratamiento de Lodos

El tratamiento de las aguas residuales genera una serie de subproductos y los lodos son la parte más importante de ellos. Estos, antes de su disposición final, deben ser acondicionados a causa del alto contenido de materia orgánica putrescible por lo que de ninguna manera pueden ser dispuestos libremente. Los lodos pueden ser procesados de diferentes maneras, la digestión, incineración u oxidación por vía húmeda son los más empleados para reducir la materia orgánica; la concentración, acondicionamiento y deshidratación para la eliminación de la humedad.

Las características de los lodos varían con la composición del agua residual y con el tipo de tratamiento, en la tabla 2.9. se resumen las características de los lodos según sea el proceso de donde provienen. [Ing. Ricardo Rojas 2002]

Tabla 2.9. Características de Lodos Procedentes de Diferentes Procesos de Tratamiento^a

Tipo de Lodo	Aspecto	Olor	Secado	Humedad (%)
Primario	Pardo y pegajoso	Fuerte	Difícil	95,0 - 97,5
Secundario				
Filtro biológico	Ceniciento floculento	Medio	Medio	92,0 - 95,0
Lodo activado	Marrón floculento	Suave	Difícil	98,5 - 99,5
Precipitación química	Ceniciento gelatinoso	Fuerte	Difícil	93,0 - 95,0
Lodo séptico	Negro	Fuerte		
Lodo digerido	Negro húmedo granular	Suave	Fácil	S.P. 87 F.B. 90 L.A. 93 P.Q. 90

S.P. Sedimentador primario F.B. Filtro biológico L.A. Lodo activado P.Q. Precipitación química

a- Adaptada de Ing. Ricardo Rojas Coordinador de Proyectos Especiales (2002). Curso Internacional Gestión integral de tratamiento de aguas residuales. Conferencia - Sistemas de tratamiento de aguas residuales. Cuadro 8 (pág. 16). [5]

2.7 Comparación entre Tratamientos Aerobios y Anaerobios.

Habiendo descripto de forma general los diferentes procesos involucrados en el tratamiento de aguas residuales, es importante realizar una comparación de los mismos en cuanto a su comportamiento frente a un mismo parámetro. Para esto se tomaron aquellos parámetros que se consideran relevantes al momento de realizar el diseño de un tratamiento de efluentes. Cabe aclarar, que además se deben tener en cuenta todos aquellos parámetros que se encuentran fuera de los límites establecidos (DQO, DBO₅, pH, coliformes, etc), ya que de éstos también depende el tratamiento a aplicar.

Esta comparación es una herramienta de gran ayuda para seleccionar luego el tratamiento a implementar teniendo en cuenta que se puede analizar los mismos como ventajas y desventajas de los sistemas a la hora de la selección. (Ver tabla 2.10.)

COMPARACIÓN DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES PARA UN HOTEL EN AMBIENTE URBANO. DIMENSIONAMIENTO DEL PROCESO SELECCIONADO.

Tabla 2.10. Comparación de los Principales Parámetros entre Tratamientos Aerobios y

Parámetro	Anaerobios ^a	
	Tratamientos de Efluentes	
	Anaerobio	Aerobio
Requerimientos de energía	Bajos	Altos
Grado de tratamiento	Moderado (60 a 90%)	Alto (95%)
Sensibilidad a variación de pH	Moderada (< 6,6 las bacterias metanogénicas no actúan)	Baja (< 5,0 los microorganismos no se desarrollan)
Producción de lodos	Baja	Alta
Tiempo para arranque	2 a 4 meses	2 a 4 semanas
Requerimientos de nutrientes	Bajos	Altos para ciertos desechos industriales
Sensibilidad a variación de temperatura	Moderada	Baja
Tiempo de residencia hidráulica	Altos	Bajos
Estabilidad del proceso (a Compuestos tóxicos y sobrecargas teniendo en cuenta el tiempo de permanencia)	Baja a moderada	Moderada a alta
Olor	Problemas potenciales	Menores posibilidades
Requerimientos de alcalinidad	Alto para ciertos desechos industriales	Bajos
Producción de biogás	Sí	No
Costos de inversión y operación	Bajo	Alto

a- Adaptada de Fundación Universitaria Iberoamericana (FUNIBER). Tratamiento de Aguas Residuales Industriales. Universidad del Atlántico. Santander, España. [2]

Ing. Pedro E. Ortiz Bardanales, Asesor Técnico SANAA (2014). Rodrigo Muñoz Couto (2002). Operación y mantenimiento de sistemas de alcantarillado sanitario y plantas de tratamiento de aguas residuales. Reactores anaeróbios (Taller de formación) La Ceiba, Atlántida, Honduras. [11]

José Luis Arvizu Fernández (septiembre-octubre de 1996). Tratamiento anaerobio-aerobio de las aguas residuales de las instalaciones del IIE Méjico. Aplicaciones Tecnológicas /Boletín IIE. [12]

3. MARCO EMPÍRICO

El diseño y la selección de una PTAR es uno de los aspectos más desafiantes, tanto los conocimientos técnicos como las experiencias prácticas son necesarios. Los principales elementos a tener en cuenta para la selección de los procesos de tratamiento son [Ing. Ricardo Rojas, 2002]:

- Necesidad del cliente.
- Requerimientos de la calidad del agua residual tratada por parte de la agencia reguladora y garantizar su cumplimiento.
- Cumplir las leyes ambientales y reglamentos locales.
- Selección y análisis de las operaciones y procesos unitarios con reducción de los costos de construcción, operación y mantenimiento.
- Compatibilidad con las facilidades existentes.
- Costo.
- Consideraciones ambientales como pérdida del terreno, vista panorámica, ruidos, olores, entre otros.
- Generación de residuos como los mismos efluentes, lodos, etc.
- Requerimientos de personal para la operación de la planta.
- Requerimientos de energía.

Este trabajo se plantea para el tratamiento de líquidos residuales de un hotel, los cuales hoy día son vertidos a la red cloacal. Dicho hotel se encuentra ubicado en una zona cercana al centro de la ciudad, abarcando una superficie total de 7 ha aproximadamente y una superficie cubierta de 5 ha con una capacidad para 300 huéspedes y 50 empleados. El consumo de agua en el mismo, es variable en función de los clientes presentes y el personal disponible; el agua se utiliza para servicios sanitarios, limpieza, cocina y lavandería (datos proporcionados por personal de la empresa). Los efluentes líquidos totales estimados en estas condiciones, más un adicional solicitado por la gerencia del hotel previendo una posible incorporación de cabañas en el futuro, se calcularon teniendo en cuenta ocupación completa del complejo, para que la PTAR pueda procesar los líquidos recibidos sin inconvenientes de verse sobrepasada en su capacidad.

COMPARACIÓN DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES PARA UN HOTEL EN AMBIENTE URBANO. DIMENSIONAMIENTO DEL PROCESO SELECCIONADO.

De la Tabla 3.1. se obtiene que el consumo entre huéspedes y empleados es de 70000L/día a lo que se le adicionan 20000L/día por requerimiento de la gerencia, resultando un consumo de 90000L/día. Para facilitar los cálculos en el dimensionamiento se expresará de ahora en adelante en 90m³/día

Tabla 3.1. Valores Típicos de los Consumos en Establecimientos Comerciales^a

Actividad	Unidad	Caudal, L/unidad*día	
		Intervalo	Valor típico
Aeropuerto	Pasajero	15-20	15
Apartamento	Persona	380-760	380
Estación de Servicio	Vehículo Servido	380-760	40
	Empleado	30-60	50
Bar	Cliente	may-15	10
	Empleado	40-60	50
Hotel	Huésped	150-225	190
	Empleado	30-50	40
Edificios Industriales			
(se excluye industria y cafetería)	Empleado	30-65	55
Lavandería	Máquina	1515-2460	2100
	Lavado	170-210	190
Albergue	Persona	110-190	150
Motel	Persona	95-150	140
Motel con Cocina	Persona	95-225	150
Oficina	Empleado	30-75	55
Lavabos Públicos	Persona	10-20	15
Restaurante	Comida	10-30	20
Pensión	Residente	95-190	150
Grandes Almacenes	Lavabo	1515-2270	2100
	Empleado	30-50	40
Centro Comercial	Aparcamiento	5-10	8
	Empleado	30-50	40

a- Adaptada de Metcalf-Eddy (1995). Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización. Capítulo 2, Caudales de Aguas Residuales. Tabla 2.3 (pag 20-21)

COMPARACIÓN DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES PARA UN HOTEL EN AMBIENTE URBANO. DIMENSIONAMIENTO DEL PROCESO SELECCIONADO.

Para poder caracterizar los líquidos efluentes, se realizaron muestreos del mismo durante quince días, en temporada alta, para obtener valores más representativos ya que la capacidad del hotel está al máximo.

El muestreo se realizó utilizando un equipo instalado antes del vuelco del efluente al troncal cloacal. El equipo realiza tomas de muestra cada 1 hora, acondicionándolas en un bidón en una cámara refrigerada. Una vez al día y a la misma hora, se procede al vaciamiento de dicho bidón y se realizan los controles detallados en la Tabla 3.2. En recuadro azul se destacan aquellos parámetros que no cumplen con la reglamentación para el vertido al troncal cloacal.

Se consideró que la generación de los líquidos es prácticamente continua, lo que asegura un aporte permanente del mismo.

Tabla 3.2. Características del Efluente

Descripción	Abreviatura	Valor ^a	Unidad	Límite de vuelco Colectora Cloacal ^b
Caudal del Afluente (agua residual a tratar)	Q	90	m ³ /día	
Caudal Medio	Qm	3,75	m ³ /h	
Caudal Punta	Qp	9,375	m ³ /h	
Temperatura del Agua Residual	T	20	°C	45
Sólidos Sedimentables en 10'	SS	0,4	mL/L	0,5
Sólidos Sedimentables en 2hs	SS	2,5	mL/L	1
Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 Días (DBO ₅)	DBO ₅	265	mg/L	200
Demanda Química de Oxígeno	DQO	678,3	mgO ₂ /L	500
Coliformes Fecales		7,5x10 ⁵	NMP/100 mL	1x10 ⁵
pH	pH	9,45		6 a 9
Nitrógeno Total	N-total	38	mg/L	100
Fósforo Total	P-total	2,712	mg/L	5
Sólidos Disueltos Totales	SDT	560	mg/L	

a- Promedio de los resultados obtenidos en los análisis durante siete días consecutivos

b- Resolución 885 IG-L Tercero Decreto 1093-15 apéndices de parámetros de vuelco. Anexo V

Al comparar los resultados obtenidos con los valores permitidos de vuelco se observa la necesidad de realizar un tratamiento previo teniendo en cuenta los valores que se encuentran remarcados en el cuadro.

Para la elección del tratamiento se presentó a la gerencia del hotel el dimensionamiento de dos sistemas biológicos, uno aeróbico y otro anaeróbico.

Si bien en el marco teórico de éste trabajo se detalló que, por teoría, se considera que una relación DBO_5/DQO entre 0,55 - 0,70 es un buen indicador para que un tratamiento biológico sea apropiado (se consideran aguas muy biodegradables), también por teoría se considera que valores de relación $>0,2$ y $\leq 0,4$ aún pueden ser recomendados para estos tratamientos (se consideran aguas biodegradables) y valores $<0,2$ se recomiendan tratamientos químicos para su depuración (se consideran aguas poco biodegradables). [Secretariado Alianza por el Agua / Ecología y Desarrollo - Monográficos Agua en Centroamérica [3], 2014]

Por lo antes mencionado, el valor 0,39 de la relación DBO_5/DQO resultante de los análisis del efluente del hotel, si bien está indicando una mayor presencia de compuestos no biodegradables, igualmente se consideró viable la aplicación de un tratamiento biológico solamente, sin necesidad de aplicar un tratamiento químico. Este tratamiento previo se debe incorporar cuanto más cercana sea la relación DBO_5/DQO a 0,2 para aumentar el valor de dicho índice.

3.1 Parámetros de Dimensionamiento y Cálculos

Para dimensionar los diferentes módulos se tuvieron en cuenta los valores obtenidos del análisis del efluente del hotel, los cuales se encuentran detallados en la Tabla 3.2 y, para aquellos casos en que no se contaba con un valor experimental, se utilizaron supuestos teóricos.

Tanto las fórmulas utilizadas para el cálculo de los módulos de los dos sistemas propuestos y los supuestos teóricos fueron obtenidos/consultados de las Normas ENOHSa (Capítulo 11.6 y 11.8); Metcalf & Eddy, 1995; José Ferrer Polo y Aurora Seco Torrecillas, 2008; Organización Panamericana de la Salud (OPS), Centro Panamericano de Investigación Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) (2005) y apuntes del módulo Tratamiento de Efluentes de la ETERO. (Especialidad en Tratamientos de Efluentes y Residuos Orgánicos)

3.1.1 Tratamiento Aerobio

Se propone el dimensionamiento de un sedimentador primario, un reactor biológico de mezcla completa y un sedimentador secundario según se muestra en el siguiente esquema

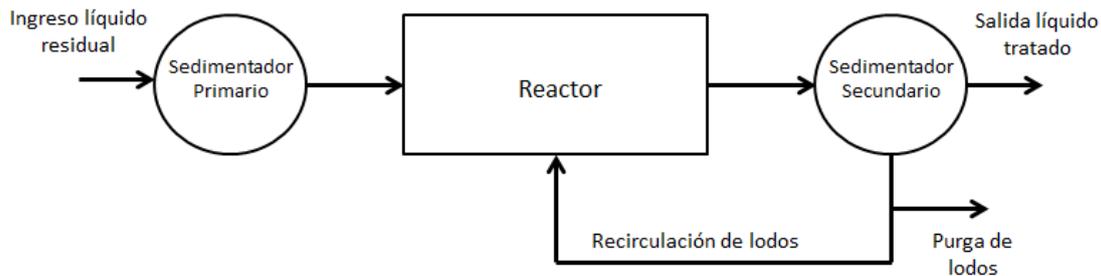


Figura 3.1. Esquema del Tratamiento Aeróbico

A continuación se desarrollan los cálculos de los diferentes módulos descriptos para el tratamiento aerobio. Como el desarrollo de los cálculos para el dimensionamiento es secuencial, según la figura 3.1, los resultados obtenidos de los cálculos de cada módulo serán aplicados en el cálculo del módulo siguiente según corresponda.

a) Sedimentador Primario

Las fórmulas utilizadas para estos cálculos se tomaron de Metcalf & Eddy, 1995. Los valores teóricos subrayados se obtuvieron del apunte del módulo Tratamiento de Efluentes de la ETERO

Volumen

$$V \text{ (m}^3\text{)} = Q * t$$

Q : Caudal m^3/d

t : tiempo mínimo de permanencia del efluente en el sedimentador (2 h)

$$V = 90 * 0,0833 = 7,5 \text{ m}^3$$

Superficie

$$\Omega \text{ (m}^2\text{)} = \frac{Q}{C_s}$$

C_s : carga superficial. Se supone $1 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ($24 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)

$$\Omega = \frac{90}{24} = 3,75 \text{ m}^2$$

Altura

$$h \text{ (m)} = \frac{V}{\Omega} \quad h = \frac{7,5}{3,75} = 2 \text{ m}$$

Se estima, para el proyecto, que la remoción de sólidos y DBO_5 en el sedimentador es del 60% y 25% respectivamente, por lo que el efluente de salida del mismo tendría un valor de 1ml/L para sólidos sedimentables (SS) y de 198.75 mg/L para la DBO_5 .

b) Reactor Aeróbico

Las fórmulas utilizadas para el cálculo del volumen y requerimiento de oxígeno, se tomaron de las Normas ENOHSa (Capítulo 11.8, Lodos Activados), al igual que los valores teóricos, excepto aquellos que se encuentran subrayados que se obtuvieron del apunte del módulo Tratamiento de Efluentes de la ETERO. Para el cálculo de caudal de purga y recirculación, rendimiento y dimensionamiento del reactor, se utilizaron fórmulas de Metcalf & Eddy, 1995.

Volumen

$$V_r \text{ (m}^3\text{)} = \frac{Y * \theta_c * Q * (S_a - s)}{X_v * (K_e * \theta_c + 1)}$$

Y : relación entre la masa celular sintetizada y la masa de MO removida (KgSSV/Kg DBO_5 removida)

θ_c : Edad Celular

Q : caudal (m^3)

COMPARACIÓN DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES PARA UN HOTEL EN AMBIENTE URBANO. DIMENSIONAMIENTO DEL PROCESO SELECCIONADO.

S_a: concentración orgánica del efluente de entrada al reactor (mgDOB₅/L).

S: concentración orgánica del efluente de salida (mgDOB₅/L)

X_v: concentración de sólidos suspendidos volátiles (mg/L) = *a* * *X* (*X*: sólidos suspendidos totales)

K_e: constante de respiración endógena

$$V_r = \frac{0,5 * 10 * 90 * (198,75 - 20)}{3200 * (0,06 * 10 + 1)} = 16 \text{ m}^3$$

Y: 0.5

θ_c: 10 días

S_a: 198,75 mg/l DBO₅ (valor de salida del sedimentador primario)

S: 20 mg/L

X_v: 3200 mg/L (*a* * *X* = 0.8*4000)

K_e: 0.06 1/d

Requerimiento de Oxígeno

$$DO_2 (\text{KgO}_2/\text{d}) = a' * Q * (S_a - S) + b' * X * V$$

a': KgO₂ producidos por día con respecto a los KgDBO₅ removidos por día (0,5)

Q: caudal (m³/d)

S_a: 198,75 mg/l DBO₅ (0,199 mk/m³)

S: 20 mg/L (0,02 kg/m³)

b': KgO₂/d*KgSS (0,05)

X: 4000 mg/L (4 KgSSTA/m³)

V: volumen reactor (m³)

$$DO_2 = 0,5 * 90 * 0,179 + 0,05 * 4 * 16 = 11,2 \text{ KgO}_2/\text{d}$$

Caudal de Purga

$$Q_w (\text{m}^3) = \frac{V * X}{\theta_c * X_r}$$

X: 4000 mg/L

X_r: concentración de sólidos suspendidos totales en la línea de recirculación. (Se supone el doble de del ingreso al reactor, 8000 mg/L)

$$Q_w = \frac{16 * 4000}{10 * 8000} = 0,8 \text{ m}^3$$

Caudal de Recirculación

$$Q_w (m^3/d) = \frac{X * Q}{(X_r - X)} \quad Q_w = \frac{4000 * 90}{(8000 - 4000)} = 90 m^3/d$$

Rendimiento

$$R (\%) = \frac{S_a - S}{S_a} \quad R = \frac{198,75 - 20}{198,75} = 90\%$$

Dimensionamiento del reactor

$$\Omega (m^2) = \frac{V}{h} \quad \Omega = \frac{16}{1,7} = 9,4 m^2$$

Se adopta un valor de altura útil de 1,70 m ya que se considera una distancia razonable para lograr una buena transferencia de O₂. [Apuntes Tratamiento de Efluentes, ETERO]

Se propone un reactor con formato rectangular, con un largo (L₁) de 6 m

$$\Omega (m) \quad L_2 = \frac{9,4}{6} = 1,6 m$$

Con estos valores el volumen del reactor es de 16.32 m³. Teniendo en cuenta que puede existir la presencia de espuma en la superficie y para evitar desborde, la altura total propuesta es de 2 m, esto arroja una capacidad del reactor de 19.2 m³. Las dimensiones finales son 6 m de largo por 1,6 m de ancho con una altura de 2 m.

c) Sedimentador Secundario

Al igual que el cálculo del sedimentador primario, las fórmulas utilizadas para estos cálculos se tomaron de Metcalf & Eddy, 1995.

COMPARACIÓN DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES PARA UN HOTEL EN AMBIENTE URBANO. DIMENSIONAMIENTO DEL PROCESO SELECCIONADO.

Volumen

$$V \text{ (m}^3\text{)} = Q * t$$

$$V = 90 * 0,104 = \mathbf{9,4 \text{ m}^3}$$

t: 2,5 h

Superficie

$$\Omega \text{ (m}^2\text{)} = \frac{Q}{Cs} \quad \Omega = \frac{90}{16} = \mathbf{5,6 \text{ m}^2}$$

Cs: carga superficial. Se supone $0,68 \text{ m}^3/\text{m}^2 * \text{h}$ ($16 \text{ m}^3/\text{m}^2 * \text{h}$) [Apuntes Tratamiento de Efluentes, ETERO]

Altura

$$h \text{ (m)} = \frac{V}{\Omega} \quad h = \frac{9,4}{5,6} = \mathbf{1,7 \text{ m}}$$

Las dimensiones finales para el sedimentador son de 1.7 m de altura con un volumen de 7.4 m^3 y superficie de 5.6 m^2

3.1.2 Tratamiento Anaerobio

Se propone una cámara séptica.



Figura 3.2. Esquema del Tratamiento Anaeróbico

Tal como se detallase en el dimensionamiento de los módulos del tratamiento aeróbico, a continuación se desarrollan los cálculos para el dimensionamiento del tratamiento anaerobio. Los resultados obtenidos de los cálculos de cada módulo serán aplicados en el cálculo del siguiente según corresponda. Como el desarrollo de los cálculos para el dimensionamiento es secuencial dentro del mismo módulo, los resultados obtenidos de los cálculos de cada sub-módulo serán aplicados en el cálculo del siguiente según corresponda.

COMPARACIÓN DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES PARA UN HOTEL EN AMBIENTE URBANO. DIMENSIONAMIENTO DEL PROCESO SELECCIONADO.

Para el cálculo de TRH, no se utilizó la fórmula **TRH= 1.5 – 0.3log (P * Q)** (P: población y Q: caudal por habitante) por tener un caudal tan grande, por lo que se tomó un valor de 20 horas de permanencia. [Apuntes Tratamiento de Efluentes, ETERO]

Las fórmulas utilizadas para estos cálculos se tomaron de Organización Panamericana de la Salud (OPS), Centro Panamericano de Investigación Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) (2005), al igual que los valores teóricos, excepto aquellos que se encuentran subrayados que se obtuvieron del apunte del módulo Tratamiento de Efluentes de la ETERO

Volumen requerido para la sedimentación

$$V_s (\text{m}^3) = (P * Q) * TRH \qquad V_s = 90 * 0,83 = 75 \text{ m}^3$$

TRH (en días): 20 hs

Volumen digestión y almacenamiento lodos

$$V_d (\text{m}^3) = 70 * 10^{-3} * P * N \qquad V_d = 70 * 10^{-3} * 350 * 1 = 24,5 \text{ m}^3$$

P: 350 personas (capacidad máxima del hotel)

N: intervalo deseado en años, entre operaciones sucesivas de remoción de lodos.
(Se supone 1 año)

Volumen de lodos producidos

Se considera 50 L/hab*año teniendo en cuenta que es clima frío

$$V_l (\text{m}^3) = 50 * P * N \qquad V_l (\text{m}^3) = 0,05 * 350 * 1 = 17,5 \text{ m}^3$$

Volumen natas

Se considera un valor mínimo de **0.7 m³**

Rendimiento

Se estima para una cámara séptica una remoción de la DBO₅ en un 40% por lo que el efluente tratado tendría un valor de DBO₅ de 119 mg/L

Dimensionamiento de la Cámara Séptica

El volumen de la misma es la suma de los volúmenes del sedimentador, digestión y almacenamiento de lodos y natas dando un volumen final de 100,2 m³. Además hay que tener en cuenta que la relación entre largo y ancho debe ser 2:1 como mínimo.

$$\Omega \text{ (m}^2\text{)} = \frac{V}{h} \qquad \Omega = \frac{100,2}{2} = 50 \text{ m}^2$$

Se adopta un valor de altura de 2 m desde el fondo hasta la capa de nata incluida.

Se propone un formato de cámara rectangular, con un ancho (L₁) de 4.5 m

$$\Omega = L_1 * L_2 \qquad L_2 = \frac{50}{4,5} = 11 \text{ m}$$

Estos cálculos arrojan un volumen de 99 m³. Por lo que se debe aumentar el tamaño de la cámara para permitir el espacio necesario entre la superficie de la nata y la tapa de la cámara.

Se propone una altura de 2.3 m total, llegando así a una capacidad de 113.85 m³ por lo que el dimensionamiento es de 4.5 m de ancho por 11 m de largo con una profundidad de 2.3 m.

3.2 Discusión de Resultados

Teniendo en cuenta los porcentajes de remoción de la DBO₅ y los SS luego del sedimentador primario planteado para el tratamiento aeróbico, con la instalación de ésta unidad solamente ya se logra la reducción necesaria de los parámetros para vuelco a red cloacal, pero se debe tener en cuenta que la proyección a futuro del hotel es la incorporación de cabañas por lo que es necesario un tratamiento secundario para los efluentes. Además, la posibilidad de reutilizar el agua depurada luego de una desinfección adicional, para disminuir los valores bacteriológicos por debajo de los límites permitidos para riego en espacios verdes con acceso al público. Con este

aporte se generaría una disminución en el consumo de agua para este fin, cuidado de esta manera los recursos naturales.

Con respecto al tratamiento secundario se plantearon dos sistemas, uno aerobio de mezcla completa con los sedimentadores primario y secundario y un anaerobio, cámara séptica.

Según los resultados obtenidos en el rendimiento de ambos sistemas; para el tratamiento aeróbico es del 90% por lo que es posible la reutilización del agua luego de ser clorada, por ejemplo para riego. Caso contrario se presenta con el tratamiento anaeróbico ya que el valor es de un 40% lo que implica adicionar un tratamiento posterior para poder tener una depuración mejor de las aguas si se desea reutilizar la misma. Este tratamiento adicional puede ser aeróbico o de infiltración, lo cual para este último caso se requiere de mayor superficie de terreno disponible y el mismo no puede recibir tránsito de automóviles lo que disminuiría el predio del estacionamiento del hotel. Cabe destacar que el tratamiento anaeróbico, en caso de no recurrir al reúso del agua, cumple con la exigencia de valores de vuelco de DBO_5 al troncal cloacal, por lo que la implementación de este sistema es de gran aporte al depurado de las aguas a la Ciudad.

Las dimensiones volumétricas de los diferentes tratamientos presentan una gran diferencia. Se puede ver que el sistema aeróbico es mucho menor que el anaeróbico, si bien la ocupación de espacio físico de ambos tratamientos es similar, se puede variar la distribución de los componentes del sistema aeróbico mientras que el anaeróbico es una sola construcción por lo que sí o sí es necesario disponer de un terreno importante para su construcción, además de tener que incorporar el tratamiento adicional.

El dimensionamiento del tratamiento aeróbico lleva un sistema de aireación para la incorporación de O_2 del tipo de difusor de burbuja fina.

3.3 Elección del Sistema de Tratamiento para el Hotel

El análisis de lo anteriormente detallado y planteado en este trabajo (resultados de los dimensionamientos, comparación de los sistemas, puntos a considerar en una elección), junto con la gerencia del hotel y

considerando además, la ubicación del hotel, la disposición de terreno para la construcción de la PTAR y en éste caso en particular, al ser un hotel 5 estrellas, la conservación de la estética del mismo, concluyó en la selección de un tratamiento aeróbico.

Si bien es importante aclarar que el costo de este sistema en cuanto a construcción, mantenimiento, operación y requerimiento de energía para la incorporación del O₂ es muy superior al sistema anaeróbico presentado, se deben considerar los resultados que dicho tratamiento arroja:

- La calidad del agua residual cumple con los requisitos necesarios para su reutilización.
- La generación de olores es casi nula.
- Los productos finales de degradación quedan a un nivel menor de energía que los del sistema de degradación anaerobia ya que se oxidan más que estos últimos liberando más energía en el proceso por lo que la degradación es más rápida.
- No se presenta el problema de endurecimiento de la grasa, el aceite y otros materiales menos densos que flotan formando la capa de espuma típica de la cámara séptica.
- Aunque intervienen varios grupos de microorganismos lo que hace que el proceso sea complejo, no lo es tanto como el anaeróbico donde los grupos de bacterias deben estar en correcto equilibrio entre ellas para un buen funcionamiento.
- La puesta en marcha de la planta se realiza en semanas y se trabaja con bajos tiempos de residencia.

3.3.1 Descripción General del Tratamiento

Los efluentes generados, llegan a la planta depuradora utilizando la pendiente del terreno, de esta manera no es necesario la utilización de bombas. Se instalará una cámara antes del ingreso al sedimentador primario, la cual contará con una reja de limpieza manual para retener los sólidos gruesos que llegan con el líquido y además se realizará la regulación del pH con HCl ya que el valor del mismo provocaría un mal funcionamiento de la planta depuradora.

COMPARACIÓN DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES PARA UN HOTEL EN AMBIENTE URBANO. DIMENSIONAMIENTO DEL PROCESO SELECCIONADO.

Posteriormente el efluente es receptado en el sedimentador primario y por diferencia de nivel ingresa al reactor aeróbico donde se produce el contacto con los microorganismos para la degradación de la MO. Esto sucede en presencia de oxígeno el cual es suministrado por difusores de burbuja fina instalados en la base del reactor en bastidor correspondiente. Desde el reactor, el líquido tratado ingresa al sedimentador secundario donde se realiza la separación de los lodos y el efluente tratado, parte de los lodos son recirculados al reactor y parte purgados.

El efluente tratado es vertido al troncal cloacal por lo que no es necesario instalar una cámara de contacto para desinfección. Los lodos generados en el sedimentador primario y en el reactor, serán retirados por un ente autorizado para su transporte como disposición final. La frecuencia de retiro puede variar, teniendo en cuenta los lodos generados.

Se cuenta con dos puntos de muestreo para el control del tratamiento de las aguas residuales, los cuales se encuentran antes del ingreso al sedimentador primario y después del sedimentador secundario. (Fig. 3.3)

Se contará con la opción de almacenar en un tanque cisterna parte del líquido tratado para ser usado en el sistema de riego. En este punto sí se deberá realizar una dosificación de cloro para eliminación de patógenos.

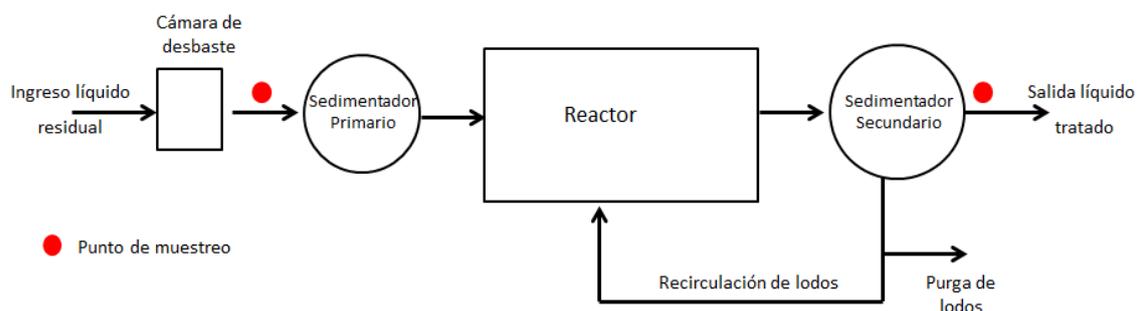


Figura 3.3. Esquema Genérico del Tratamiento

3.4 CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta la ubicación y categoría del hotel, la mejor propuesta es la instalación de una planta compacta por sus pequeñas dimensiones comparadas con un sistema tradicional de tratamiento aerobio, la estructura se coloca bajo tierra, sólo es necesaria una excavación para la instalación y luego se puede recubrir la misma con césped dejando solo a la vista las tapas de los diferentes módulos para su operación, lo que la hace estéticamente agradable, también es importante destacar que el tiempo de instalación es mínimo comparado con una planta aeróbica abierta. Además se obtienen excelentes resultados de reducción de la DBO₅ entre otros y no requiere de purga de lodos, los cuales son retirados desde el sedimentador y el biodigestor, teniendo en cuenta el bajo volumen de generación de los mismos, con una periodicidad estimada entre 4-5 meses pudiendo variar la misma según se detecte necesidad.

En el Anexo I se presenta una breve descripción del funcionamiento de la planta compacta seleccionada con las imágenes asociadas, la cual fue presentada a la gerencia.

BIBLIOGRAFÍA

- 1 - Metcalf & Eddy, INC. (1995). *Ingeniería de aguas residuales, tratamiento, vertido y reutilización (3a ed.)*. España – McGraw Hill.
- 2 – Carmen L. Rodríguez Velasco, Silvia Pueyo Villa (2011). *Tratamiento de Aguas Residuales Industriales (Tomo III)*. (Maestría en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible). Fundación Universitaria Iberoamericana (FUNIBER). Universidad del Atlántico. Santander, España.
- 3 - Alejandro Mauricio Hammeken Arana, Eduardo Romero García (2005). *Análisis y diseño de una planta de tratamiento de agua residual para el municipio de San Andrés Cholula* (Tesis de Licenciatura en Ingeniería Civil) Universidad de las Américas Puebla Escuela de Ingeniería Departamento de Ingeniería Civil. Recuperada de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/hammeken_a_am/portada.html [Consulta:28 junio 2015]
- 4 - Armando Marín Ocampo, Manuel Osés Pérez (2013). *Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales con el proceso de lodos activados (Tomo 1)*. Comisión Estatal de Agua de Jalisco. Dirección de Operación de Plantas de Tratamientos Residuales. Méjico
- 5 - Ing. Ricardo Rojas Coordinador de Proyectos Especiales (2002). *Curso Internacional Gestión integral de tratamiento de aguas residuales*. Conferencia - Sistemas de tratamiento de aguas residuales. Rojas (Autor).
- 6 – Secretariado Alianza por el Agua / Ecología y Desarrollo - Monográficos Agua en Centroamérica [3] (2014). *Manual de Depuración de Aguas Residuales Urbanas*. Editorial Ideasmares.
- 7 - Menéndez Gutiérrez Carlos, Pérez Olmo Jesús M. (2007). *Procesos para el tratamiento biológico de aguas residuales industriales*. Editorial Universitaria.
- 8 - Ing. Jenny Alexandra Rodríguez V. (Mayo 1997) *Curso de pregrado Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales*. Universidad el Valle. Cali-Colombia. Rodríguez V. (Autor). Recuperada de:

<<http://www.ingenieroambiental.com/4014/tratamiento545.pdf>>

[Consulta: 22 julio 2015]

9 - Elida Nodal Becerra (Octubre 2000). *Ingeniería Hidráulica y Ambiental. Procesos Biológicos Aplicados al Tratamiento de Agua Residual*, Vol. 22 (Núm. 4), 52-56. Recuperada de:

<<http://unicesar.ambientalex.info/infoCT/Procesosbiologicoscu.pdf>>

[Consulta: 13 julio 2015]

10 - Alejandro Mariñelarena (2006). *Manual de autoconstrucción de sistemas de tratamiento de aguas residuales domiciliarias (1ª ed.)*. Mariñelarena - FREPLATA editores.

11 - Grupo AquaLimpia (Julio 2004). *Sistemas anaeróbicos UASB para depuración de aguas residuales*. Recuperada de www.aqualimpia.com

12 - Ing. Pedro E. Ortiz Bardanales, Asesor Técnico SANAA (2014). Rodrigo Muñoz Couto (2002). *Operación y mantenimiento de sistemas de alcantarillado sanitario y plantas de tratamiento de aguas residuales. Reactores anaerobios* (Taller de formación) La Ceiba, Atlántida, Honduras. Recuperada de <<https://1793ho.files.wordpress.com/2014/03/2g-tratamiento-anaerobio-po2014.pdf>> [Consulta: 2 junio 2015]

13 - José Luis Arvizu Fernández (septiembre-octubre de 1996). *Tratamiento anaerobio-aerobio de las aguas residuales de las instalaciones del IIE Méjico*. Aplicaciones Tecnológicas /Boletín IIE. Recuperada de : <<http://www.iie.org.mx/publica/bolso96/aplica.htm>> [Consulta: 11 agosto 2015]

14 - M. en. C. Marjorie Márquez Vázquez y M. en C. Sergio A. Martínez González (2011). *Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (RAFA's o UASB) Antología*. Centro Tecnológico Aragón. Laboratorio de Ingeniería Ambiental. Recuperada de:

<<http://chita.aragon.unam.mx/papime100310/documentos/RAFA.pdf>>

[Consulta: 11 agosto 2015]

15 - Ley N° 2952 Código de Aguas de la Pcia. de Río Negro. *Resolución 885 IG-L Tercero Decreto 1093-15 apéndices de parámetros de vuelco. Anexo V*

Límites Máximos Admisibles de Parámetros de Calidad. B – Descarga de Efluentes en Colectores e Infiltración Subterránea

16 – ENOHSA (Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento). *Norma de Estudios, Diseño y Presentación de Proyectos de Desagües Cloacales*. Capítulo 11.6, Tratamientos Anaeróbicos. Capítulo 11.8, Lodos Activados.

17 – José Ferrer Polo y Aurora Seco Torrecillas (Julio 2008). *Tratamientos Biológicos de Aguas Residuales (1ª ed)*. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España. Alfaomega Grupo Editor.

18 - Organización Panamericana de la Salud (OPS), Centro Panamericano de Investigación Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) (2005). *Guía para el Diseño de Tanques Sépticos, Tanques Imhoff y Lagunas de Estabilización*. OPS/CEPIS/05.163 UNATSABAR. Lima. Recuperada de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d24/053_Dise%C3%B1o_tanques_s%C3%A9pticos_Imhoff_lag/Dise%C3%B1o_tanques_s%C3%A9pticos_Imhoff_lagunas_estabilizaci%C3%B3n.pdf> [Consulta: 13 julio 2015]

19- Beatriz Verniere, (2013), *Especialidad en Tratamientos de Efluentes y Residuos Urbanos. Módulo Tratamiento de Efluentes*. Universidad de Río Negro. San Carlos de Bariloche, Río Negro

20 - Rodrigo Muñoz Couto (2002). *Uso de humedales para el tratamiento de aguas residuales municipales en el entorno de la Laguna de Tamiahua, Veracruz (Tesis de ingeniería)*. Universidad de las Américas Puebla Escuela de Ingeniería Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental . Recuperada de <http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/munoz_c_r/indice.html> [Consulta: 23 junio 2015]

21 - APHA-AWWA-WPCF, (1989). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (17th ed.). American Public Health Association, Washington DC, USA - Clesceri, L.S. et al., eds.

ANEXO I

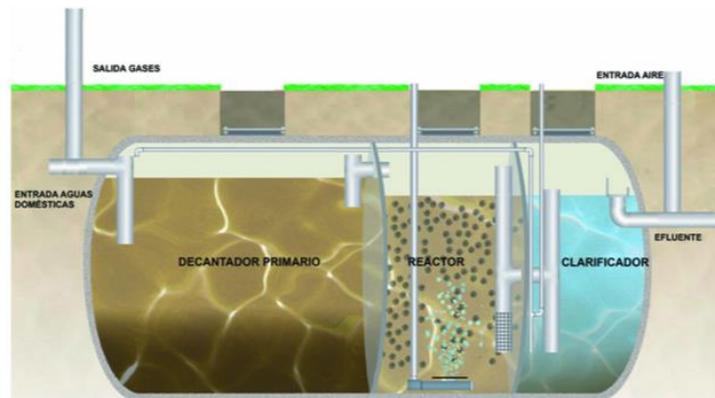


Figura 1. Esquema general de una Planta Compacta para Aguas Residuales Domésticas. www.tecnoaqua.es

Etapas de funcionamiento de planta compacta

- El agua residual entra al Sedimentador donde los sólidos más gruesos decantan evitando así el ingreso al Bio-digestor, reduciendo las cantidades de aire a suministrar y los tiempos de retención para la depuración de las aguas.
- El Bio-digestor esta alimentado por bombas ubicadas en la superficie que introducen el aire desde el fondo del tanque generando corrientes de agua ascendentes. Estas corrientes de agua al subir se encuentran con un difusor que cumple la función de atomizarla.
- El líquido cae y se adhiere al medio de tratamiento acanalado y empaquetado en el cual se encuentran fijadas las bacterias, son abundantes, diversas y se auto regulan metabolizando el residuo que ingresa.
- Como resultado se obtiene una corriente limpia sin olor lista para ser clorada.

COMPARACIÓN DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES PARA UN HOTEL EN AMBIENTE URBANO. DIMENSIONAMIENTO DEL PROCESO SELECCIONADO.



Figura 2. Vista esquemática del funcionamiento de la planta compacta

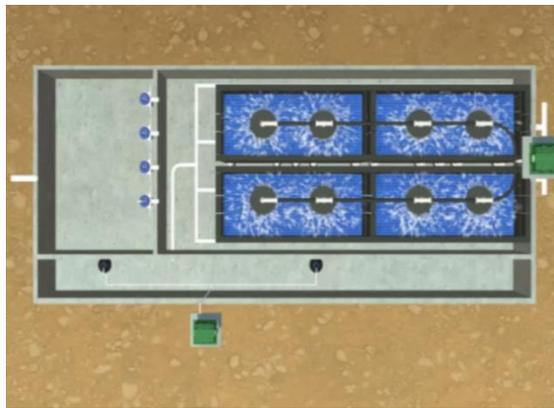


Figura 3. Esquema de la vista superior de la planta compacta

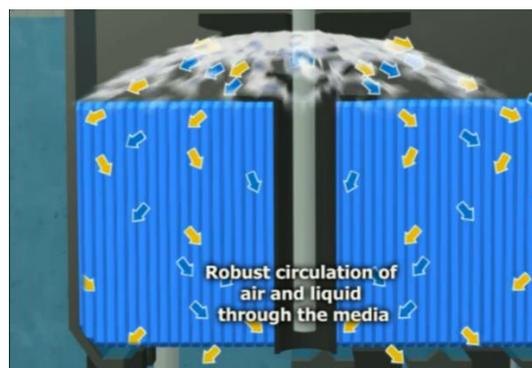


Figura 4. Esquema del movimiento del fluido en el soporte de placas

COMPARACIÓN DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES PARA UN HOTEL EN AMBIENTE URBANO. DIMENSIONAMIENTO DEL PROCESO SELECCIONADO.

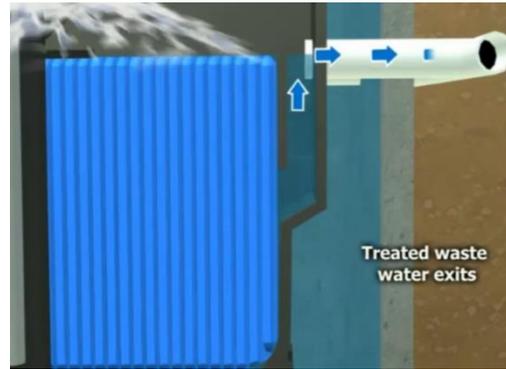


Figura 5. Esquema de la salida del agua tratada



Figura 6. Vista superior de la planta compacta en funcionamiento