

Universidad de **Cádiz**

Proyectos de fin de carrera de **Ingeniería Química**

Facultad: CIENCIAS

Titulación: INGENIERÍA QUÍMICA

Título: Diseño de una estación depuradora de aguas residuales en zona costera con tratamiento terciario para riego de campo de golf

Autora: Paula SÁNCHEZ MARTÍNEZ

Fecha: Junio 2011





Diseño de una estación depuradora de aguas residuales en zona costera con tratamiento terciario para riego de campo de golf

Paula Sánchez Martínez

El agua, fuente natural de recurso, se ha convertido en la actualidad en un bien escaso que debemos proteger, velando por su buena gestión. La preocupación en este sentido pasa por el tema que nos ocupa, el diseño de una estación depuradora con tratamiento terciario para riego de campo de golf.

El presente proyecto, titulado “Diseño de una estación depuradora de aguas residuales en zona costera con tratamiento terciario para riego de campo de golf”, consta en primer lugar, de una memoria descriptiva cuyo contenido es el fundamento teórico de nuestro proceso, en la que se ha incluido un apartado de justificación técnica, económica y legal, que fundamenta la elección del sistema de tratamiento más idóneo. Se ha incluido además, un estudio de mantenimiento de los equipos e instalaciones, que garantice eficiencias óptimas de funcionamiento de los mismos, seguido de un estudio detallado de evaluación de riesgos, que vele por las condiciones mínimas de salud en los puestos de trabajo.

Finaliza con los planos de EDAR, el pliego de condiciones y un presupuesto para la posible instalación diseñada.

El objetivo principal de estudio es llevar a cabo un tratamiento adecuado de las aguas contaminadas, que reduzca la contaminación en su origen, a la vez que logramos un mejor aprovechamiento de los recursos hídricos, y minimizamos el impacto ambiental que provoca la instalación de un complejo recreativo de tales dimensiones.

La planta se ubicará en las proximidades del campo de golf, cercada por árboles, minimizando así el impacto visual. Dicho campo a su vez, colinda con un núcleo residencial de clase alta, situado en zona costera. La población que habita dichas viviendas gira en torno a 2500 habitantes equivalentes, en épocas estivales.

Las aguas residuales, con un caudal medio de 562,5 m³/día y concentraciones de DBO₅ de 266,7 mg/l y sólidos en suspensión de 355,6 mg/l, son tratadas mediante un sistema de lodos activados por aireación prolongada, y posteriormente sometidas a un tratamiento de desinfección mediante luz ultravioleta.

Dadas las características del agua a tratar, alta biodegradabilidad y caudales diarios bajos, el tamaño de la población, y los rendimientos exigibles por ley, se ha optado por un proceso de fangos activos de alta carga y altos tiempos de retención, que garantice un efluente de calidad.

El mecanismo de desinfección se fundamenta en la sencillez de operación, a la vez de ser una tecnología limpia, que no genera ninguna clase de residuo ni impacto ambiental. Con ello se consigue un agua con una concentración en sólidos mínima y una tasa de nutrientes tal, que las hace adecuadas para el riego.

Por tanto, objeto de este proyecto es seleccionar y dimensionar los diferentes elementos que forman una estación depuradora con tratamiento terciario, siendo este el aspecto clave a la hora de garantizar el buen funcionamiento de la misma. Además, se opta por instalaciones automatizadas y modernas, que minimicen al máximo la mano de obra, y las labores de mantenimiento.

De modo esquemático, el camino que sigue el agua es el siguiente:

El afluente, con un caudal medio de 23,14 m³/h, que proviene de una red de alcantarillado tipo separativa, llega por gravedad hasta una arqueta principal, y de la misma pasa a la unidad de debaste.

Este caudal, recorre dicha unidad formada por una reja de limpieza automática con luz de malla de 6 mm, y un tamiz de cilindro rotatorio con una luz de malla de 0,25 mm. A su paso por la reja, queda libre de sólidos gruesos,

como trozos de palos, piedras, hojas,...etc, y lista para pasar al tamiz, que retiene partículas de arena, además de un porcentaje de grasas.

A continuación, llega al tanque de lodos activos, donde tiene lugar la descomposición de la materia orgánica por parte de los microorganismos, que se alimentan de la misma, además de necesitar de una dosis de oxígeno. Este último suministrado por una soplante colocada en el centro del tanque circular.

El hecho de optar por este mecanismo, de sencilla construcción y facilidad de operación, que a su vez amortigua las puntas de carga contaminante, suprime la unidad de decantación primaria.

El agua residual tratada durante un tiempo de residencia adecuado, pasa a la unidad de decantación, en la cual se produce la separación agua-lodos. Aquí, tiene lugar la clarificación del agua tratada que rebosa por la parte superior del tanque, y la sedimentación del fango. De este fango, que se recoge en el fondo del tanque, una parte retorna a la cuba de aireación, y otro porcentaje es separado de la corriente, como purga de lodos, para su posterior tratamiento y traslado.

El agua clarificada, que aún contiene un gran porcentaje de sólidos, comienza el tratamiento terciario.

Se dispone por tanto de una unidad de filtración previa al proceso de desinfección ultravioleta. Esta unidad es clave en el éxito de la desinfección, ya que un agua con un contenido en sólidos mayor a 15 ppm, no nos proporcionaría las condiciones idóneas de tratamiento.

Se trata de un filtro comercial de arena silíceo de flujo ascendente con sistema de lavado, que proporciona un tratamiento eficaz y continuo del agua.

La última unidad la constituye un canal prefabricado que lleva instalado un sistema de lámparas ultravioletas, proporcionando una dosis efectiva y un agua apta para la aplicación de riego, en nuestro caso, que satisfaga las necesidades del complejo deportivo colindante, cumpliendo con las limitaciones de vertido según *Artículo 4, RD.1620/2007, Anexo I.A*, por el que se establecen los criterios mínimos de calidad para la reutilización de las aguas.

ÍNDICE GENERAL

- **MEMORIA DESCRIPTIVA**
- **ANEXOS DE LA MEMORIA DESCRIPTIVA**
- **PLANOS**
- **PLIEGO DE CONDICIONES**
- **PRESUPUESTO TOTAL**

ÍNDICE DE LA MEMORIA DESCRIPTIVA

1. OBJETO DEL PROYECTO	pág.4
2. ANTECEDENTES.	
2.1 El agua, un bien escaso y valioso.....	pág.5
2.2. La Reutilización del agua residual urbana.....	pág.7
3. DATOS DE PARTIDA.	
3.1 Fiabilidad de los datos aportados.....	pág.15
3.2 Evaluación y determinación de los caudales de proyecto.....	pág.18
3.3 Evaluación y determinación de las cargas contaminantes de proyecto.....	pág.20
4. VIABILIDAD DEL PROYECTO.	
4.1 Viabilidad legal.....	pág.23
4.2 Viabilidad técnica.	
4.2.1. Selección del tratamiento biológico adecuado.....	pág. 29
4.2.2. Selección del tratamiento terciario adecuado.....	pág.41
4.3 Viabilidad económica.....	pág.45
5. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO DE DEPURACIÓN.	
5.1. Pretratamiento.	
5.1.1. Debaste de gruesos. Rejas y Tamices.....	pág. 51
5.1.2. Desarenado.....	pág.58

5.1.3. Desengrasado.....	pág.63
5.2. Tratamiento secundario.	
5.2.1. Tratamiento biológico mediante el proceso de fangos activos.....	pág.67
5.2.2. Cinética del crecimiento bacteriano.....	pág.67
5.2.3. Rendimientos.....	pág.70
5.2.4. Constitución de los procesos biológicos de fangos activos.....	pág.72
5.3. Proceso biológico de fangos activos.	
5.3.1. Elección del tipo de reactor.....	pág.77
5.3.2. Descripción del modelo matemático.....	pág.77
5.3.3. Procedimiento de diseño para plantas de lodos activos.....	pág.95
5.3.4. Decantador secundario y línea de fango.....	pág.114
5.4. Tratamiento Terciario.	
5.4.1. Desinfección.....	pág.118
5.4.2. Mecanismo de desinfección.....	pág.122
5.4.3. Tecnologías de desinfección.....	pág.126
5.5. Desinfección mediante luz Ultravioleta.	
5.5.1. Fuentes de radiación UV.....	pág.138
5.5.2. Mecanismo de desinfección UV.....	pág.141
5.5.3. Impacto ambiental de la desinfección UV.....	pág.146
5.5.4. Coste de la tecnología.....	pág.147
6. DESCRIPCIÓN DE LAS SOLUCIONES ADOPTADAS.	
6.1. Descripción del proceso.	
6.1.1. Reja de gruesos y tamiz rotatorio.....	pág.148

6.1.2. Equipo de filtración.....	pág.155
6.1.3. Equipo de desinfección UV.....	pág.165
6.2. Dimensionado de la planta.....	pág.170
7. EXPLOTACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	pág.172
8. ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD.	
EVALUACIÓN DE RIESGOS.....	pág.180
9. BIBLIOGRAFÍA.....	pág.211

1. OBJETO DEL PROYECTO

El objetivo principal del proyecto es llevar a cabo el diseño de una estación depuradora de aguas residuales, y la selección y diseño de un tratamiento terciario eficiente para la reutilización del agua depurada y desinfectada para riego de un campo de golf.

Lograr un tratamiento terciario eficiente, pasa por llevar a cabo una buena elección del sistema de depuración más adecuado, además de un dimensionamiento correcto de las unidades de tratamiento.

Según el Artículo 3, “Condiciones técnicas de los sistemas de tratamiento”, del RD.509/1996, el diseño de las instalaciones para los tratamientos de aguas residuales urbanas, deberá realizarse teniendo presente todas las condiciones climáticas normales de la zona, así como las variaciones estacionales de carga.

El agua obtenida en el proceso de tratamiento debe cumplir con los requisitos, definidos por la legislación vigente *RD.1620/2007* sobre el régimen jurídico de reutilización de aguas depuradas, asegurando que su uso no acarreará ningún tipo de problema, prestando especial atención a aquellos ocasionados por patógenos a la salud pública.

De esta forma, se conseguirá un mejor aprovechamiento de los recursos hídricos y se minimizará el impacto ambiental que un campo de golf acarrea respecto al consumo de los citados recursos.

2. ANTECEDENTES

2.1. EL AGUA, UN BIEN ESCASO Y VALIOSO.

Nos encontramos en un período crucial en las relaciones entre el hombre y el agua. El modelo tradicional, basado fundamentalmente en la oferta pública y generalizada del recurso, ha alcanzado su límite y está en crisis. Los innegables éxitos de la política hídrica del siglo pasado no son capaces de dar respuesta suficiente a las nuevas demandas sociales. Se puede decir que este modelo, llevado a su máximo límite, está agotado, siendo incapaz de ofrecer respuestas a la sociedad compleja y desarrollada, que es la Andalucía del siglo XXI.

El agua, ya no se concibe de forma unilateral como un mero bien económico sino, como un activo ecológico y social, un patrimonio que debemos conservar y proteger como tal y no como un simple bien comercial.

Esta nueva concepción, plasmada en la Directiva Marco de las Aguas aprobada en el año 2000, es un precepto de obligado cumplimiento en todos los Estados miembros de la UE.

El mandato de la Directiva Marco de Aguas, que obliga a todos los países europeos, introduce en la práctica profundos cambios en actitudes y usos muy asentados por años de ejercicio con el apoyo de la política estatal y el acuerdo social.

El desarrollo económico suele implicar la necesidad de disponer de recursos hídricos adicionales para poder llevar a cabo las nuevas actividades industriales o agrícolas, o para abastecer la demanda correspondiente a las actividades domésticas, turísticas y de ocio. Por otra parte, este desarrollo suele implicar un aumento de población, lo que incrementa aún más la demanda de agua.

Estas circunstancias suelen conducir en muchos lugares de clima árido o semiárido a la escasez de recursos hídricos, tanto temporal como estructural, lo que conlleva diversas disfunciones y en general una disminución de la calidad del agua. Incluso en determinados lugares con lluvia suficiente, climas no áridos, la acumulación de la demanda en el tiempo y el espacio crea

deficiencias. En uno y otros casos, las situaciones de sequía hacen más grave la escasez.

La solución pasa, entre otras alternativas, por el tema que nos ocupa, *La Reutilización*.

El uso de aguas residuales tratadas con altos niveles de calidad que, actualmente, se vierten al medio ambiente tras su tratamiento en estaciones depuradoras municipales, está recibiendo una atención creciente como fuente fiable de recursos hídricos. Hoy en día, existen tratamientos técnicamente probados o procesos de purificación capaces de suministrar agua de casi cualquier calidad que se desee. De este modo, la reutilización de aguas residuales, resulta un elemento clave a la hora de llevar a cabo una óptima planificación, una gestión, y un uso más eficiente del agua en muchas áreas del mundo.

2.2. LA REUTILIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL URBANA

Según REAL DECRETO 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas, se entiende por:

- Reutilización de las aguas, aplicación, antes de su devolución al dominio público hidráulico y al marítimo terrestre para un nuevo uso privativo de las aguas que, habiendo sido utilizadas por quien las derivó, se han sometido al proceso o procesos de depuración establecidos en la correspondiente autorización de vertido y a los necesarios para alcanzar la calidad requerida en función de los usos a que se van a destinar.

- Aguas depuradas: aguas residuales que han sido sometidas a un proceso de tratamiento que permita adecuar su calidad a la normativa de vertidos aplicable.

- Aguas regeneradas: aguas residuales depuradas que, en su caso, han sido sometidas a un proceso de tratamiento adicional o complementario que permite adecuar su calidad al uso al que se destinan.

En la planificación e instrumentación de los planes de recuperación y reutilización de aguas residuales, el factor que normalmente determina el grado de tratamiento necesario y el nivel de confianza deseado de los procesos y operaciones de tratamiento suele ser el uso al que se destina el agua. Prestando especial atención a las condiciones de calidad necesarias para proteger el medio ambiente y mitigar los riesgos para la salud pública.

Las posibilidades de reutilización de las aguas residuales tratadas son numerosas y variadas, en el *Artículo 4 RD.1620/2007*, Anexo I.A, podemos ver los criterios de calidad para la reutilización de las aguas, según el uso al que se destinen.

USO DEL AGUA PREVISTO	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE (VMA)			
	NEMATODOS INTESTINALES	ESCHERICHI A COLI	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	TURBIDEZ
1.- USOS URBANOS				
CALIDAD 1.1: RESIDENCIAL a) Riego de jardines privados. b) Descarga de aparatos sanitarios.	1 huevo/10 L	0 (UFC /100mL)	10 mg/L	2 UNT
CALIDAD 1.2: SERVICIOS a) Riego de zonas verdes urbanas (parques, campos deportivos y similares). b) Baldeo de calles. c) Sistemas contra incendios. d) Lavado industrial de vehículos.	1 huevo/10 L	200 UFC/100 mL	20 mg/L	10 UNT
2.- USOS AGRÍCOLAS				
CALIDAD 2.1 a) Riego de cultivos con sistema de aplicación que permita el contacto directo del agua regenerada con las partes comestibles para alimentación humana en fresco.	1 huevo/10 L	100 UFC/100 MI Teniendo en cuenta un plan de muestreo a 3 clases ³ con los siguientes valores: n = 10 m = 100 UFC/100 mL M = 1.000 UFC/100mL c = 3	20 mg/L	10 UNT
CALIDAD 2.2 a) Riego de productos para consumo humano con sistema de aplicación de agua que no evita el contacto directo del agua regenerada con las partes comestibles, pero el consumo no es en fresco sino con un tratamiento industrial posterior. b) Riego de pastos para consumo de animales productores de leche o carne. c) Acuicultura.	1 huevo/10 L	1.000 UFC/100 mL Teniendo en cuenta un plan de muestreo a 3 clases ¹ con los siguientes valores: n = 10 m = 1.000 UFC/100 mL M = 10.000 UFC/100 mL c = 3	35 mg/L	No se fija límite.

3.- USOS INDUSTRIALES				
CALIDAD 3.1 a) Aguas de proceso y limpieza excepto en la industria alimentaria. b) Otros usos industriales.	No se fija Límite	10.000 UFC/100 mL	35 mg/L	15 UNT
c) Aguas de proceso y limpieza para uso en la industria alimentaria	1 huevo/10 L	1.000 UFC/100 mL Plan de muestreo a 3 clases ² con los siguientes valores: n = 10 m = 1.000 UFC/100 mL M = 10.000 UFC/100 mL c = 3	35 mg/L	No se fija Límite
CALIDAD 3.2 a) Torres de refrigeración y condensadores evaporativos.	1 huevo/10 L	Ausencia UFC/100 mL	5 mg/L	1 UNT
4.- USOS RECREATIVOS				
CALIDAD 4.1 a) Riego campos de golf.	1 huevo/10 L	200 UFC/100 mL	20 mg/L	10 UNT
CALIDAD 4.2 a) Estanques, masas de agua y caudales circulantes ornamentales, en los que está impedido el acceso del público al agua.	No se fija límite	10.000 UFC/100 mL	35 mg/L	No se fija límite
5.- USOS AMBIENTALES				
CALIDAD 5.1 a) Recarga de acuíferos por percolación localizada.	No se fija Límite	1.000 UFC/100 mL	35 mg/L	No se fija Límite
CALIDAD 5.2 a) Recarga de acuíferos por inyección directa.	1 huevo/10 L	0 UFC/100 mL	10 mg/L	2 UNT
CALIDAD 5.3 a) Riego de bosques, y zonas verdes no accesibles al público. b) Silvicultura.	No se fija Límite	No se fija límite	35 mg/L	No se fija Límite
CALIDAD 5.4 a) Otros usos ambientales	La calidad mínima requerida se estudiará caso por caso.			

Además de los anteriores, existen criterios de calidad específicos, según la función que cumplirá el agua regenerada, que no se han incluido en el cuadro anterior.

En el presente proyecto, el agua residual recuperada se reutilizará para riego de campo de golf, por tanto, debe cumplir en el punto de entrega los criterios de calidad establecidos en el anexo I.A.

USO DEL AGUA PREVISTO	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE (VMA)			
	NEMATODOS INTESTINALES	ESCHERICHIA COLI	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	TURBIDEZ
	1 huevo/10 L	200 UFC/100 mL	20 mg/L	10 UNT
CALIDAD 4.1 a) Riego de campos de golf.	OTROS CRITERIOS			
	<p>OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente.</p> <p>En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs.</p> <p>Si el riego se aplica directamente a la zona del suelo (goteo, microaspersión) se fijan los criterios del grupo de Calidad 2.3.</p> <p><i>Legionella spp.</i> 100 UFC/L (si existe riesgo de aerosolización)</p>			

La reutilización de aguas residuales exige la adopción de medidas de protección de la salud pública. En todo proceso de recuperación y reutilización de aguas residuales, existe algún riesgo de exposición humana a los agentes infecciosos.

El tratamiento de las aguas residuales para fines de reutilización tiene como enfoque principal la reducción considerable de los microorganismos patógenos, sean de origen bacteriano, viral, de protozoos o helmintos, además de la eliminación de malos olores u otras sustancias que pudiesen tener un efecto negativo en la práctica de la reutilización, cómo los sólidos

en suspensión, que obstruyen los aspersores o las boquillas para el riego por goteo. Por ello es preciso prestar una atención especial a los requisitos de calidad de las aguas residuales y a las medidas de seguridad.

En el cuadro se mencionan los posibles riesgos hacia la salud según las categorías de reutilización, por ello debemos hacer una buena gestión de la contaminación.

Categorías de reutilización de aguas residuales municipales y posibles limitaciones

Categorías de reutilización de las aguas residuales	Posibles limitaciones
<i>Riego en agricultura</i> <i>Riego de cultivos</i> <i>Plantaciones comerciales</i> <i>Riego de espacios verdes</i> <i>Parques</i> <i>Patios de colegios</i> <i>Medianas de autopistas</i> <i>Campos de golf</i> <i>Cementerios</i> <i>Zonas verdes</i> <i>Zonas residenciales</i>	<i>Si la gestión no es adecuada, contaminación de aguas superficiales y subterráneas.</i> <i>Comercialización de las cosechas y aceptación pública.</i> <i>Efecto de la calidad del agua sobre el suelo y las cosechas (especialmente las sales).</i> <i>Problemas de salud pública relacionados con la presencia de patógenos (bacterias, virus y parásitos).</i> <i>Control de la zona de utilización, incluidos los espacios de amortiguamiento. Puede implicar elevados costes para los usuarios.</i>
<i>Reciclaje y reutilización industrial</i> <i>Refrigeración</i> <i>Calderas</i> <i>Agua de proceso</i> <i>Construcciones pesadas</i>	<i>Presencia de constituyentes que puedan provocar problemas de corrosión, incrustaciones carbonatadas, crecimientos bacterianos y ensuciamiento en los sistemas.</i> <i>Problemas de salud pública, especialmente la transmisión de patógenos por aerosoles en el agua de refrigeración.</i>

<p><i>Recarga de aguas subterráneas</i> <i>Recarga de acuíferos</i> <i>Control de intrusión de aguas saladas</i> <i>Control de subsidencias</i></p>	<p><i>Compuestos químicos orgánicos presentes en el agua recuperada y sus efectos tóxicos. Presencia de sólidos disueltos, nitratos y patógenos.</i></p>
<p><i>Usos recreativos/ambientales</i> <i>Lagos y estanques</i></p>	<p><i>Afecta a la distribución entre ácido hipoclorito y el ión hipoclorito.</i></p>
<p><i>Mejora de zonas pantanosas</i> <i>Incremento de los caudales de los cursos de agua</i> <i>Piscifactorías</i> <i>Fabricación de nieve artificial</i></p>	<p><i>Eutrofización debido a la incorporación de N y P a las aguas receptoras.</i> <i>Toxicidad para la vida acuática.</i></p>
<p><i>Usos urbanos no potables</i> <i>Protección contra incendios</i></p>	<p><i>Problemas de salud pública relacionados con la transmisión de patógenos en aerosoles</i></p>
<p><i>Aire acondicionado y lavabos</i></p>	<p><i>Efecto de la calidad del agua sobre la formación de costras carbonatadas, corrosión, crecimientos biológicos y fallos en los sistemas.</i> <i>Conexiones cruzadas.</i></p>
<p><i>Reutilización en usos potables</i> <i>Mezcla en depósitos de agua de abastecimiento</i> <i>Abastecimiento de agua directo</i></p>	<p><i>Presencia de constituyentes tales como los compuestos químicos orgánicos de trazas y sus efectos tóxicos.</i> <i>Estética y aceptación pública.</i> <i>Problemas de salud pública relacionados con la transmisión de patógenos, especialmente de virus</i></p>

La reutilización de las aguas, directa o planificada, está bastante desarrollada ya en España y ha demostrado sus ventajas:

- Posibilita un incremento sustancial de los recursos hídricos existentes en las zonas donde el efluente depurado se vierte al mar.
- Posibilita una mejor gestión de los recursos, al sustituir con aguas regeneradas volúmenes de agua de mayor calidad que pueden, de esta forma, utilizarse para fines como el abastecimiento humano.
- Reduce el aporte de contaminantes a los cursos naturales de agua.
- Posibilita el ahorro energético, al evitar la necesidad de aportar caudales adicionales de agua desde zonas más alejadas a la que se encuentra la planta de regeneración del efluente depurado.
- Aprovechamiento de los elementos nutritivos contenidos en el agua depurada.
- Mayor fiabilidad y regularidad del agua disponible.

En este proyecto, se van a tratar aguas residuales urbanas procedentes de una zona residencial hipotética, que se ubica próxima a un núcleo urbano situado en zona costera.

3. DATOS DE PARTIDA

Los datos proporcionados por la compañía gestora del agua en la localidad, para llevar a cabo el diseño de la planta son los siguientes:

	<i>FASE Invernal</i>	<i>FASE Estival</i>
<i>Hab. Equivalentes</i>	500	2500
<i>Caudal unitario l/hab.día</i>	225	225
<i>Caudal m³/día</i>	112	562
<i>Caudal medio m³/h</i>	5	23,43
<i>Caudal punta</i>	1.8	1.8
<i>Caudal punta horario m³/h</i>	9	42,19
<i>g DBO₅/hab.día</i>	60	60
<i>Kg DBO₅/día</i>	30	150
<i>g SS/hab.día</i>	80	80
<i>Kg SS/día</i>	40	200

Podemos apreciar que existe un aumento significativo en estaciones cálidas, como era de esperar en urbanizaciones situadas en zona costera.

Además se considera que nuestra urbanización hipotética no crecerá en el futuro, ya que colinda con los terrenos del campo de golf, y por tanto no será posible un aumento de terreno habitable mayor al que ya se ha contemplado para la época estival.

Basándonos en las afirmaciones anteriores, el cálculo de las dimensiones de la planta se realizará para la situación más desfavorable de proyecto, los de la Fase Estival. Por tanto, nuestro caudal de diseño para una población futura será de 2500 habitantes equivalentes.

3.1. FIABILIDAD DE LOS DATOS APORTADOS

El primer paso es comprobar la fiabilidad de los datos aportados por la propiedad, basándonos en datos de la bibliografía.

En aquellos casos en los que no es posible medir directamente los caudales de aguas residuales y no se dispone de series históricas de los mismos, los datos sobre el abastecimiento de agua a la comunidad pueden resultar de gran ayuda para estimar los caudales de aguas residuales.

Incluso para aquellos casos en los que tampoco se dispone de los datos de abastecimiento, se dan valores típicos de dotaciones, según el tipo de usuario, aparatos domésticos e industriales, y la fracción de agua de abastecimiento que se convierte en residual. Datos que resultan muy útiles para estimar el caudal de agua residual que genera una comunidad.

Para nuestro caso en concreto, se ha optado por una Dotación de 225 l/hab.día, valor típico, para un apartamento de nivel alto-medio.

Zonas residenciales: Caudales de Agua Residual típicos

Caudal (l/unidad.día)

<i>Fuente</i>	<i>Unidad</i>	<i>Intervalo</i>	<i>Valor Típico</i>
<i>Apartamento</i>			
Alto Standing	Persona	132-280	190
Nivel Medio	Persona	198-300	245
Hotel	Cliente	115-210	170
<i>Residencia Individual</i>			
Vivienda media	Persona	170-340	265
Vivienda clase alta	Persona	225-380	300
Vivienda de lujo	Persona	280-570	360
Vivienda antigua	Persona	115-225	170
Segunda residencia	Persona	95-190	150
<i>Motel</i>			
Con Cocina	Unidad	340-680	380
Sin Cocina	Unidad	285-570	360
Zona Caravaning	Persona	115-190	150

El siguiente paso es caracterizar nuestra muestra de agua residual doméstica bruta. Según el cuadro siguiente, tenemos un agua con concentración media respecto a DBO₅ y fuerte para sólidos en suspensión:

$$60 \text{ g DBO/hab.día} * 225 \text{ l/hab.día} = 266,7 \text{ mg DBO/l}$$

$$80 \text{ g SS/hab.día} * 225 \text{ l/hab.día} = 355,6 \text{ mg SS/l}$$

Composición del Agua Residual Urbana

CONTAMINANTES	UNID.	Concentración (mg/l)		
		DÉBIL	MEDIA	FUERTE
Sólidos totales	mg/l	350	720	1200
Sólidos Disueltos	mg/l	250	500	850
SD fijos	mg/l	145	300	525
SD volátiles	mg/l	105	200	325
Sólidos en suspensión	mg/l	100	220	350
SS fijos	mg/l	20	55	75
SS volátiles	mg/l	80	165	275
Sólidos sedimentables	ml/	5	10	20
DBO₅	mg/l	110	220	400
Carbono orgánico total	mg/l	80	160	290
DQO	mg/l	250	500	1000
Nitrógeno (total N)	mg/l	20	40	85
N orgánico	mg/l	8	15	35
Amoníaco libre	mg/l	12	25	50
Nitritos	mg/l	0	0	0
Nitratos	mg/l	0	0	0
Fósforo (total P)	mg/l	3	5	15
P orgánico	mg/l	1	3	5
P inorgánico	mg/l	2	2	10
Cloruros	mg/l	30	50	100
Sulfato	mg/l	20	30	50
Alcalinidad (Ca CO ₃)	mg/l	50	200	300
Grasas	mg/l	50	100	150
Coliformes totales	nº/100ml	10 ⁶ -10 ⁷	10 ⁷ -10 ⁸	10 ⁷ -10 ⁹
Comp.Orgánicos Volátiles	µg/l	<100	100-400	>400

Cómo no disponemos de los datos de cargas contaminantes para el nitrógeno y el fósforo, nos basamos en la bibliografía, teniendo en cuenta las cargas de DBO y SS, por tanto:

Las cargas contaminantes de N y P total, serán las equivalentes a un agua de concentración media:

DQO : 550 mg/l

N: 35 mg/l

P: 5 mg/l

3.2. EVALUACIÓN Y DETERMINACIÓN DE LOS CAUDALES DE PROYECTO

El proceso de evaluar y determinar los caudales de proyecto, hace necesario obtener unos caudales medios basados en la población actual y las predicciones de población futura, la contribución de las aguas industriales y la influencia de la infiltración y las aportaciones incontroladas. Una vez determinados los caudales medios, se multiplican por unos factores punta, obteniéndose los caudales punta de proyecto.

Para determinar el caudal de proyecto, es necesario tener en cuenta los siguientes factores:

1. Caudales base actuales:

Para nuestro caso, los datos aportados por la compañía gestora.

2. Estimación de los caudales futuros de origen residencial, comercial, institucional e industrial:

Dadas las afirmaciones anteriores, y no existiendo actividad industrial, ni ninguna otra actividad en la zona, a excepción de las aguas del campo de golf en cuestión, nuestro caudal futuro será calculado para una población de 2500 habitantes equivalentes.

3. Asegurar que las infiltraciones y aportaciones incontroladas no sean excesivas:

Cabe destacar en este apartado, que debido a que los colectores son de nueva ejecución, las redes serán separativas, por tanto no existirá un aumento significativo a nuestro caudal de partida a causa de las aguas pluviales.

Aún si cabe, la planta está diseñada para una máxima ocupación en los meses de verano, en cuyo caso, las aportaciones pluviales son muy escasas. Por tanto, sería capaz de asumir grandes aportaciones en meses invernales.

4. Caudales punta y caudales mínimos:

La relación entre el caudal máximo horario y el caudal medio, determina nuestro factor punta, valor determinante a la hora de dimensionar las conducciones y las unidades de proceso. Las cuales deben diseñarse siendo capaces de absorber los caudales punta que está previsto que circulen por planta. Las previsiones deben hacerse de tal modo que no se produzca bypass en el interior de nuestra planta de tratamiento.

Analizando los datos suministrados, tenemos un factor punta de 1,8, valor apropiado para pequeñas plantas de tratamiento, cuyo rango está entre 4-1.

Los caudales mínimos también son importantes para el dimensionamiento, especialmente durante los primeros años de funcionamiento, en los que la planta trabaja con caudales muy por debajo de los de proyecto. Si no se dispone de datos suficientes de los caudales, puede suponerse que el caudal mínimo puede variar en un intervalo que oscila entre el 30 por 100 del caudal medio diario en comunidades pequeñas.

Resumiendo, nuestros caudales de proyecto serán:

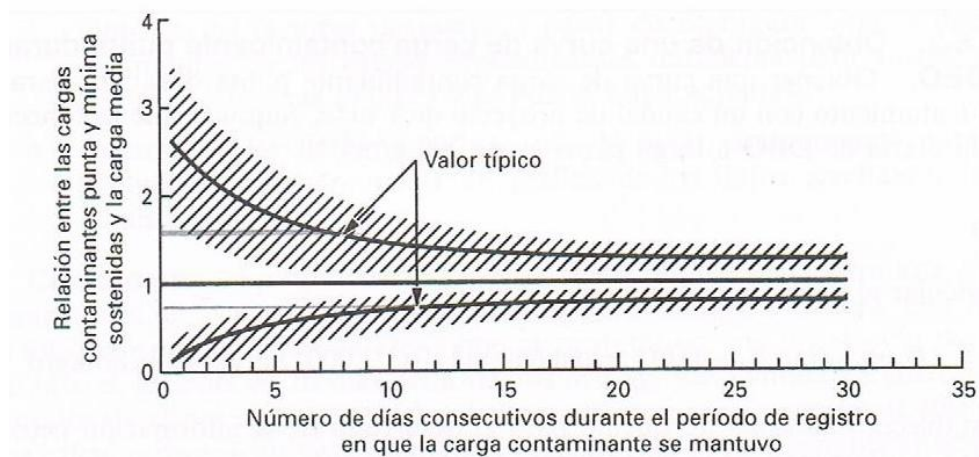
	<i>FASE Invernal</i>	<i>FASE Estival</i>
<i>Hab. Equivalentes</i>	500	2500
<i>Caudal unitario l/hab.día</i>	225	225
<i>Caudal m³/día</i>	112	562.5
<i>Caudal medio m³/h</i>	5	23.43
<i>Caudal punta</i>	1.8	1.8
<i>Caudal punta horario m³/h</i>	9	42.19
<i>Caudal mín, horario m³/h</i>	1.5	7.031
<i>Caudal mín, diario m³/día</i>	36	168.75

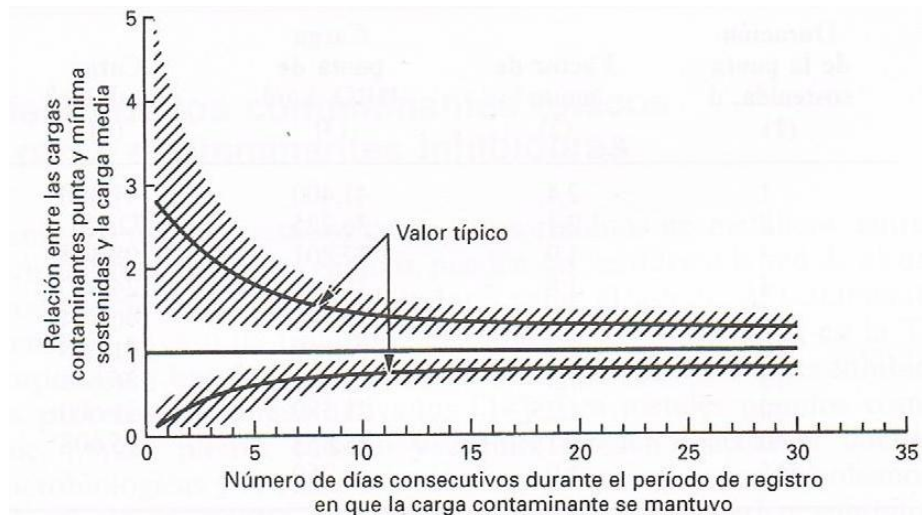
3.3. EVALUACIÓN Y DETERMINACIÓN DE LAS CARGAS CONTAMINANTES DE PROYECTO

Es necesario, una vez se ha caracterizado nuestra muestra de agua, obtener datos de cargas diarias contaminantes, además de la media diaria, las cargas punta mantenida y la mínima sostenida.

Si se desea que un proceso de tratamiento funcione apropiadamente bajo condiciones de carga variable, se debe disponer en la fase de diseño de datos sobre las cargas máximas mantenidas de contaminantes cuya presencia se espera en el agua residual a tratar. En casos de que se careza de información, el análisis estadístico de registros existentes es el mejor método para analizar las cargas punta y sostenidas apropiadas. Frente a la inexistencia de dichos datos, aparecen curvas obtenidas a partir de registros de más de 50 plantas de tratamiento, que relacionan valores de carga contaminante punta y mínima sostenidas frente a la carga contaminante media. Estas se muestran a continuación.

Valores usuales de la relación entre cargas máxicas contaminantes pico y mínima mantenida, y la carga media para DBO Y SST.





MetCalf y Eddy Ed.1995

Para nuestro caso particular, los valores que nos ocupan, suministrados por la compañía gestora son los siguientes:

CONTAMINANTES	Carga g/hab.día	Media diaria Kg/día	Punta diaria Kg/día	Mínima diaria Kg/día
<i>DBO₅</i>	60	150	270	120
<i>SST</i>	80	200	360	160
<i>Nitrógeno</i>	7,875	19,6875	35,4375	15,75
<i>Fosforo</i>	1,125	2,8125	5,0625	2,25

El conocimiento de los valores esperados de caudal, concentración y carga contaminante es de fundamental importancia en diseño y operación de unidades de tratamiento.

En el siguiente cuadro, se puede ver la importancia de los factores, y la utilidad que posteriormente tendrá en el diseño de nuestra instalación depuradora.

Factores usuales de caudal y carga másica empleados en el diseño y operación de instalaciones de tratamiento de aguas residuales.

<i>Factor</i>	<i>Aplicación</i>
BASADO EN EL CAUDAL	
Caudal promedio diario	Empleado para determinar relaciones de caudal y estimar costos de bombeo e insumos químicos
Mínimo horario	Parada de las estaciones de bombeo y límite inferior de medida requerido en los medidores de caudal.
Mínimo promedio diario	Dimensionamiento de los canales de interconexión para evitar la deposición de sólidos.
Mínimo promedio mensual	Elección del número mínimo de unidades de proceso requeridas durante períodos de bajo caudal.
Máximo promedio horario	Dimensionamiento de conducciones y estaciones de bombeo. Dimensionamiento de operaciones físicas unitarias, dimensionamiento de tanques de cloración.
Máximo promedio diario	Dimensionamiento de tanques de homogeneización, cloración y sistema de bombeo de lodos.
Máximo promedio semanal	Reporte y archivo en registros.
Máximo promedio mensual	Reporte y archivo en registros, dimensionamiento de tanques para almacenamiento de insumos químicos.
BASADO EN LA CARGA MÁSICA	
Mínimo promedio mensual	Requerimientos de paradas de procesos.
Mínimo promedio diario	Dimensionamiento de los sistemas de recirculación en filtros percoladores.
Máximo promedio diario	Dimensionamiento y elección de unidades de proceso.
Máximo promedio mensual	Dimensionamiento de instalaciones para almacenar lodos y unidades para compostaje.
Máximo promedio permanente	Dimensionamiento de las unidades de proceso seleccionadas.

4. VIABILIDAD

4.1. VIABILIDAD LEGAL

Las posibilidades de reutilización de las aguas residuales tratadas son numerosas y variadas, en el *Artículo 4 RD.1620/2007*, Anexo I.A, podemos ver los criterios de calidad para la reutilización de las aguas, según el uso al que se destinen.

Por tanto, las exigencias de calidad que debe cumplir el agua depurada y desinfectada en el punto de entrega, están reflejadas en el cuadro siguiente.

USO DEL AGUA PREVISTO	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE (VMA)			
	NEMATODOS INTESTINALES	ESCHERICHIA COLI	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	TURBIDEZ
	1 huevo/10 L	200 UFC/100 mL	20 mg/L	10 UNT
CALIDAD 4.1 a) Riego de campos de golf.	OTROS CRITERIOS			
	<p>OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente.</p> <p>En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs.</p> <p>Si el riego se aplica directamente a la zona del suelo (goteo, microaspersión) se fijan los criterios del grupo de Calidad 2.3.</p> <p><i>Legionella spp.</i> 100 UFC/L (si existe riesgo de aerosolización)</p>			

Además, deberá cumplir las limitaciones de vertido descritas en el Artículo 5 del RD. 509/ 1996, que desarrolla el Real Decreto-Ley 11/1995, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas, complementando las normas sobre recogida, depuración y vertido de dichas aguas:

Los vertidos procedentes de las instalaciones de tratamiento secundario o de un proceso equivalente, deberán cumplir los requisitos que figuran en el cuadro 1 del anexo I de este Real Decreto.

No obstante, las autorizaciones de vertidos podrán imponer requisitos más rigurosos cuando ello sea necesario para garantizar que las aguas receptoras cumplan con los objetivos de calidad fijados en la normativa vigente.

Parámetros	Concentración	Porcentaje mínimo de Reducción
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5 a 20 °C) sin nitrificación	25 mg/l O ₂	70-90%
Demanda Química de Oxígeno (DQO).	125 mg/l O ₂	75%
Total de Sólidos en Suspensión	35 mg/l	90%

Anexo I, Cuadro 1 - Requisitos para los vertidos procedentes de instalaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas. Se aplicará el valor de concentración o el porcentaje de reducción.

Como podemos apreciar, no nos bastaría con una reducción del 90% para los SS, ya que tenemos un límite más prohibitivo, 20 mg/l, que es el impuesto por el R.D. 1620/2007, para aguas depuradas y desinfectadas para riego.

Por otro lado, Según el Artículo 7 del RD. 509/ 1996, serán declaradas «zonas sensibles» y «zonas menos sensibles», de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 7.3 del Real Decreto-ley, las masas de agua incluidas en alguno de los supuestos establecidos en los apartados I y II, respectivamente, del anexo II de este Real Decreto.

I. Zonas sensibles

Se considerará que un medio acuático es zona sensible si puede incluirse en uno de los siguientes grupos:

a) Lagos, lagunas, embalses, estuarios y aguas marítimas que sean eutróficos o que podrían llegar a ser eutróficos en un futuro próximo si no se adoptan medidas de protección.

Podrán tenerse en cuenta los siguientes elementos en la consideración del nutriente que deba ser reducido con un tratamiento adicional:

1.º Lagos y cursos de agua que desemboquen en lagos, lagunas, embalses, bahías cerradas que tengan un intercambio de aguas escaso y en los que, por lo tanto, puede producirse una acumulación. En dichas zonas conviene prever la eliminación de fósforo a no ser que se demuestre que dicha eliminación no tendrá consecuencias sobre el nivel de eutrofización.

También podrá considerarse la eliminación de nitrógeno cuando se realicen vertidos de grandes aglomeraciones urbanas.

2.º Estuarios, bahías y otras aguas marítimas que tengan un intercambio de aguas escaso o que reciban gran cantidad de nutrientes. Los vertidos de aglomeraciones pequeñas tienen normalmente poca importancia en dichas zonas, pero para las grandes aglomeraciones deberá incluirse la eliminación de fósforo y/o nitrógeno a menos que se demuestre que su eliminación no tendrá consecuencias sobre el nivel de eutrofización.

b) Aguas continentales superficiales destinadas a la obtención de agua potable que podrían contener una concentración de nitratos superior a la que establecen las disposiciones pertinentes del Real Decreto 927/1988, de 29 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Administración Pública del Agua y de la Planificación Hidrológica.

c) Masas de agua en las que sea necesario un tratamiento adicional al tratamiento secundario establecido en el artículo 5 del Real Decreto-ley y en este Real Decreto para cumplir lo establecido en la normativa comunitaria.

II. Zonas menos sensibles

Un medio o zona de agua marina podrá catalogarse como zona menos sensible cuando el vertido de aguas residuales no tenga efectos negativos sobre el medio ambiente debido a la morfología, hidrología o condiciones hidráulicas específicas existentes en esta zona.

Al determinar las zonas menos sensibles, se tomará en consideración el riesgo de que la carga vertida pueda desplazarse a zonas adyacentes y ser perjudicial para el medio ambiente.

Para determinar las zonas menos sensibles se tendrán en cuenta los siguientes elementos: Bahías abiertas, estuarios y otras aguas marítimas con un intercambio de agua bueno y que no tengan eutrofización o agotamiento del oxígeno, o en las que se considere que es improbable que lleguen a desarrollarse fenómenos de eutrofización o de agotamiento del oxígeno por el vertido de aguas residuales urbanas.

Por tanto, teniendo en cuenta las consideraciones anteriores y dado el emplazamiento de nuestra Edar, situada próxima a un núcleo urbano con zona costera, no habrá exigencias en cuanto a las limitaciones de vertido, en lo que nitrógeno y fósforo se refiere.

4.2. VIABILIDAD TÉCNICA

Los objetivos de sistemas pequeños y descentralizados de manejo de aguas residuales son:

- proteger la salud pública
- proteger de la degradación el ambiente receptor.
- reducir los costos de tratamiento mediante la retención de aguas y sólidos cerca de su punto, reutilizándolos.

El sistema descentralizado de manejo de aguas residuales (SDMAR) puede definirse como la recolección, tratamiento y vertido o reutilización de aguas residuales provenientes de hogares, conjuntos habitacionales, comunidades aisladas, industrias, así como también de sectores de comunidades existentes cerca del punto de regeneración de residuos (*Tchobanoglous, 1995*)

De las situaciones en las que la gestión descentralizada de aguas residuales debe considerarse, se han seleccionado tres motivos principales que justifican el emplazamiento de una planta descentralizada de tratamiento con reutilización:

- cuando la gestión y la operación de los sistemas locales existentes deben ser mejoradas.
- cuando la comunidad o las instalaciones están distantes de otros alcantarillados existentes.
- cuando las oportunidades de reutilización del agua son posibles.

En nuestro caso particular, nos fundamentaremos en las oportunidades de reutilización, reduciendo drásticamente el daño al medio ambiente receptor, y los gastos de explotación que supone el uso recreativo de las instalaciones del campo de golf.

El análisis y la elección de los procesos de tratamiento adecuados que nos permitan cumplir con los rendimientos de eliminación establecidos

en los permisos de vertido, es uno de los aspectos claves para garantizar el éxito de nuestro diseño.

Una vez establecidos los objetivos de tratamiento para un proyecto específico y revisadas las normativas estatales y federales a las que se debe ajustar, el grado de tratamiento necesario se determinará comparando las características del agua residual cruda con las exigencias del efluente correspondiente.

A continuación, será necesaria una evaluación exhaustiva de los diferentes métodos de tratamiento con la finalidad de alcanzar los objetivos establecidos para el proceso.

La selección de una operación o proceso, o combinación de ambos determinada, depende de:

- 1._El uso potencial del efluente tratado.
- 2._La naturaleza del agua residual.
- 3._La compatibilidad de las diferentes operaciones y procesos.
- 4._Los medios disponibles para el vertido de los contaminantes.
- 5._La viabilidad económica y ambiental de los diferentes sistemas.

En este apartado se pretende justificar la elección del proceso de tratamiento más eficaz entre los existentes.

El rendimiento de una planta de tratamiento es la medida del éxito del diseño, tanto si se analiza por la cantidad del efluente, como por los porcentajes de eliminación alcanzados, es por ello, que en una primera instancia veremos una tabla comparativa con los diferentes métodos de tratamiento posibles para el tratamiento terciario de aguas residuales en núcleos pequeños, y los rendimientos que se alcanzan.

4.2.1. Selección del tratamiento biológico adecuado

Niveles de tratamiento que se pueden alcanzar con diferentes combinaciones de unidades de operaciones y procesos, usados para el tratamiento de aguas.

<i>Calidad común del efluente, mg/L excepto la turbiedad, UTN</i>							
	SST	DBO₅	DQO	N total	NH₂-N	PO₄-P	Turb
Lodos activados + filtración	4-6	<5-10	30-70	15-35	15-25	4-10	0.3-5
Lodos activados + filtración + adsorción de carbón	<5	<5	5-20	15-30	15-25	4-10	0.3-3
Lodos activados/nitrificación, una etapa	10-25	5-15	20-45	20-30	1-5	6-10	5-15
Lodos activados/nitrificación/denitrificación, etapas separadas	10-25	5-15	20-35	5-10	1-2	6-10	5-15
Adición de sal metálica a lodos activados + nitrificación – denitrificación + filtración	<5-10	<5-10	20-30	3-5	1-2	<1	0.3-2
Remoción biológica fósforo	10-20	5-15	20-35	15-25	5-10	<2	5-10
Remoción biológica fósforo y nitrógeno + filtración	<10	<5	20-30	<5	<2	<2	0.3-2

Lodos activados + filtración + adsorción de carbón + ósmosis inversa	<1	<1	5-10	<2	<2	<1	0.01-1
Lodos activados/nitr ificación – denitrificació n y remoción de fósforo + filtración + adsorción de carbón + ósmosis inversa	<1	<1	2-8	<0.1-0.5	<0.1-0.5	<0.1-0.5	0.01-1
Tanque séptico con cámara de filtración	25-40	80-120	120-260	40-80	30-60	8-12	10-20
Tanque séptico con percolador	20-40	40-60	60-100	10-20	8-16	8-12	8-20
Tanque séptico con cámara de filtración de efluente + filtración de arena intermitente	0-5	0-5	10-40	10-20	0-2	6-10	0.01-2
Tanque séptico + biofiltros absorbente	5-15	5-15	30-80	10-20	8-16	6-10	1-2

Tchobanooglous Ed.2000

Los requisitos de vertido que debe cumplir nuestro efluente, según legislación vigente, son los siguientes:

- *Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅ a 20 °C):*

Porcentaje mínimo de reducción de 70-90 %.

Concentración inferior a 25 mg/l.

- Demanda Química de Oxígeno:

Porcentaje mínimo de reducción de 75 %.

Concentración inferior a 125 mg/l.

- *Total de Sólidos en suspensión:*

Porcentaje mínimo de reducción de 90 %.

Concentración inferior a 20 mg/l.

Además de tener en cuenta la legislación específica para las aguas de reutilización, recogidas en Artículo 4 RD.1620/2007. La cual recoge las limitaciones de vertido para nitrógeno total, fósforo, turbidez y microorganismos presentes en el vertido final.

Analizando los valores del cuadro frente a las limitaciones de vertido impuestas, vemos que el método de tratamiento más eficaz, que satisface perfectamente nuestras exigencias de calidad, consiste en el tratamiento conjunto por lodos activos + filtración.

Además en este caso, se le ha incluido un tratamiento posterior de desinfección por luz ultravioleta, que proporcione un grado de tratamiento tal que se logre cumplir con los requerimientos en cuanto a microorganismos se refiere, mejorando también la calidad de nuestro efluente final.

El segundo paso será analizar nuevamente las características de nuestra agua residual, refiriéndonos fundamentalmente a las tasas de contaminantes iniciales, su grado de biodegradabilidad, y a los caudales con los que se va a trabajar.

Biodegradabilidad del efluente

La biodegradabilidad se determina como la relación de la demanda bioquímica de oxígeno a la demanda química de oxígeno. De este índice se deduce fácilmente si el agua a depurar es de origen doméstico o industrial, y señala el método de depuración más adecuado.

Así se obtiene:

- Relación $DBO_5 / DQO > 0,4$

Es biodegradable, pudiéndose utilizar sistemas biológicos por fangos activos o lechos bacterianos.

- Relación $0,2 \leq DBO_5 / DQO < 0,4$

Es biodegradable, siendo recomendable el empleo de lechos bacterianos.

- Relación $DBO_5 / DQO < 0,2$

No es biodegradable, no es adecuado utilizar métodos biológicos. Es conveniente recurrir a procesos químicos.

En nuestro caso, tenemos un valor de 0,49 con lo cual se vuelve a justificar el método de tratamiento elegido.

Caudales de proyecto y ubicación de la planta

Como vimos anteriormente, nuestra planta será diseñada para asumir los caudales de proyecto mencionados, lo que supone el uso de una tecnología que se adapte a dichos caudales con un coste de operación relativamente bajo.

El siguiente cuadro muestra la aplicabilidad de las diferentes tecnologías, según la población existente.

<i>Sistema de Tratamiento</i>	<i>Superficie m²/hab.</i>
<i>Fosa séptica</i>	< 300 hab.
<i>Tanque Imhoff</i>	< 500 hab.
<i>Tanque decantador-digestor</i>	< 1000 hab.
<i>Filtros verdes</i>	-
<i>Sistema de infiltración</i>	< 5000 hab.
<i>Escorrentía superficial</i>	< 2000 hab.
<i>Lechos de turba</i>	< 5000 hab.
<i>Sistemas de lagunaje anaerobio</i>	< 2000 hab.
<i>Sistemas de lagunaje facultativo</i>	< 3000 hab.
<i>Sistema de lagunaje de maduración</i>	< 3000 hab.
<i>Lechos bacterianos de baja y media carga</i>	< 2000 hab.
<i>Lechos bacterianos de alta carga</i>	> 6000 hab.
<i>Contactores biológicos rotativos</i>	2000 – 20.10 ³ hab.
<i>Sistema de fangos activos</i>	> 10000 hab.

Aurelio Hernández Ed.1997

Uno de los factores que más puede condicionar la selección de nuestro proceso es la situación y características del emplazamiento, ya que no todos los sistemas pueden ser viables para las condiciones que se plantean.

Por ello debemos tener en cuenta la ubicación de la planta, situada en una zona recreativa cercana a un núcleo residencial. Ello sumado a las limitaciones de terreno y el propósito de reducir las distancias al punto de vertido, que suponen menos gastos de inmovilizado inicial y consumo energético.

Los siguientes cuadros muestran la superficie o el ratio de la misma ocupada según el tipo de tratamiento empleado.

<i>Sistema de Tratamiento</i>	<i>Ratio de superficie</i>
<i>Lagunaje natural</i>	47,8
<i>Lagunaje aireado</i>	11,3
<i>Decantación – digestión – lagunaje natural</i>	18
<i>Decantación – digestión – lagunaje aireado</i>	4,2
<i>Biodiscos – Lechos bacterianos</i>	1
<i>Fangos activos</i>	1
<i>Fangos activos – oxidación prolongada</i>	1

Aurelio Hernández Ed.1997

<i>Sistema de Tratamiento</i>	<i>Superficie m²/hab.</i>
<i>Fosa séptica</i>	0,1 – 0,5
<i>Tanque Imhoff</i>	0,05 – 0,1
<i>Filtros verdes</i>	12 – 110
<i>Sistema de infiltración</i>	2 – 22
<i>Escorrentía superficial</i>	5 – 15
<i>Lechos de turba</i>	0.6 – 1
<i>Sistemasde lagunaje</i>	1 – 20
<i>Lechos bacterianos</i>	5 – 7
<i>Contactores biológicos rotativos</i>	5 – 7
<i>Sistema de fangos activos</i>	0,16 – 0,3

Aurelio Hernández Ed.1997

Analizando las tablas anteriores, vemos que la tecnología que hemos seleccionado, lodos activos, no es aplicable al caudal y población de diseño.

Los datos presentados optan por una tecnología no convencional, que presentan el inconveniente de necesitar mayor amplitud de terreno. Por lo tanto, debemos evitar el uso de tecnologías no convencionales, que además ocasionan gran impacto visual y social.

Es cierto que estas tecnologías son menos sofisticadas y costosas, pero en detrimento existen las limitaciones anteriores que nos obligan a optar por tecnologías convencionales, aplicadas a una planta de pequeño-mediano tamaño para una población de 2500 habitantes equivalentes.

Resumiendo, se opta por el tratamiento convencional de lodos activos o fangos activados, pasando a definir la modalidad de tratamiento.

Procesos biológicos de fangos activados

El proceso biológico por fangos activados quedará integrado por un reactor biológico y una decantación secundaria. Normalmente ambos escalones del proceso se materializarán en dos tanques o depósitos separados, pero existen también soluciones de tanques combinados, e incluso pueden utilizarse depósitos únicos actuando alternativamente como reactor y decantador.

El reactor biológico puede adoptar cualquiera de las dos formas compatibles con el sistema de aireación y agitación elegidas. Puede adoptar forma de canal, tanques rectangulares o circulares.

Debido a ello, aparecen distintos sistemas funcionales cuyas características de operación se describen en el cuadro siguiente.

Debido a las diferentes características de operación, surgen por tanto una serie de factores-valores operacionales para cada variante del proceso. Estos datos resultan muy útiles a la hora de elegir el tipo de mecanismo, ya que los factores de diseño de nuestra EDAR deben estar de acuerdo con estos datos. El segundo cuadro recoge dichos valores.

Características de funcionamiento del proceso de fangos activados

<i>Modificación del proceso</i>	<i>Modelo de flujo</i>	<i>Sistema de aireación</i>	<i>Eficiencia DBO, %</i>	<i>Observaciones</i>
Convencional	<i>Flujo en pistón</i>	<i>Difusores de aire, aireadores mecánicos</i>	85-95	<i>Utilizado para aguas residuales domésticas de baja concentración. El proceso es susceptible a cargas de choque</i>
Reactor de mezcla completa	Reactor de mezcla completa agitado	Difusores de aire, aireadores mecánicos	85-95	Utilizado en aplicaciones generales. El proceso es resistente frente a cargas de choque, pero es susceptible al desarrollo de crecimientos de organismos filamentosos
Aireación con alimentación escalonada	Flujo en pistón	Difusores de aire	85-95	Utilizado en aplicaciones generales en un amplio campo de tipos de aguas residuales.
Aireación modificada	Flujo en pistón	Difusores de aire	60-75	Utilizado para conseguir grados intermedios de tratamiento cuando la presencia de tejido celular en el efluente es aceptable
Contacto y estabilización	Flujo en pistón	Difusores de aire, aireadores mecánicos	80-90	Utilizado para la ampliación de sistemas existentes, plantas prefabricadas.
Aireación prolongada	Flujo en pistón	Difusores de aire, aireadores mecánicos	75-95	Utilizado en pequeñas comunidades, plantas prefabricadas, ... El proceso es flexible
Aireación de alta carga	Reactor de mezcla completa agitado	Aireadores mecánicos	75-90	Utilizado para aplicaciones generales con aireadores de turbina para transferir el oxígeno y controlar el tamaño de los flóculos
Proceso de Kraus	Flujo en pistón	Difusores de aire	85-95	Utilizado para aguas residuales de alta concentración y bajo contenido en nitrógeno.

Sistema de oxígeno puro	Reactores de mezcla completa en serie	Aireadores mecánicos (turbinas sumergidas)	75-95	Utilizado en aplicaciones generales cuando se dispone de un espacio limitado. El proceso es resistente frente a cargas másicas.
Canal de oxidación	Flujo en pistón	Aireadores mecánicos (de eje horizontal)	75-95	Utilizado en pequeñas comunidades o en zonas en las que no haya limitación de terreno.
Reactor de flujo discontinuo secuencial	Reactor de flujo intermitente agitado	Difusores de aire	85-95	Utilizado en pequeñas comunidades en las que no se dispone de mucho espacio. El proceso es flexible y permite la eliminación del nitrógeno y del fósforo.
Deep Shaft	Flujo en pistón	Difusores de aire	85-95	En aplicaciones generales para aguas residuales muy concentradas. Proceso resistente a cargas másicas
Nitrificación de etapa única	Flujo en pistón o reactores de flujo continuo agitados	Difusores de aire, aireadores mecánicos	85-95	Aplicable en general para el control de la presencia de nitrógeno en los casos en los que no se presenten residuos industriales inhibidores del proceso
Nitrificación en etapas separadas	Flujo en pistón o reactores de flujo continuo agitados	Difusores de aire, aireadores mecánicos	85-95	Utilizado para mejorar el grado de tratamiento de sistemas existentes en los que las limitaciones de nitrógeno son estrictas, o en casos que se presenten residuos industriales inhibidores susceptibles de ser eliminados en etapas previas.

Tchobanoglous Ed.2000

Factores de diseño para las distintas variantes del proceso de fangos activados

Variante del proceso	Q_R/Q	% Reducción DBO	mg O₂ g MLSS .h	Excesos Fangos Kg/kg DBO
Convencional	0,25-0,75	92	7-15	0,4-0,6
Mezcla Completa	0,25-1	92	7-15	0,4-0,6
Aireación Escalonada	1,25-0,75	92	7-15	0,4-0,6
Aireación Modificada	0,10-0,30	75	20-40	0,8-1,2
Contacto – Estabilización(U.C)* (U.E)**	0,25-1 0,50-1	92	10-30 20-30	0,4-0,6
F.A. Alta Carga	0,25-1	85	0,5-0,7	
Aireación Prolongada	1-3	90	3-8	0,15-0,3
Proceso KRAUS	0,5-1	92	7-15	
Sistema O ₂ puro	0,25-0,5	92		
Etapa Nitrificación		95	3-8	0,15-0,3

Aurelio Hernández Ed.1997

Rangos de valores de los parámetros de diseño, según su carga

<i>Fangos activos</i>	<i>Alta carga</i>	<i>Convencional o carga media</i>	<i>Aireación prolongada</i>
Color de los fangos	<i>Gris marrón</i>	Marrón	Chocolate
Carga másica (kg DBO ₅ /kg MLSS/día)	<1, (0,4-1,5)	0,2-0,4, (0,1-1,0)	<0,1, (0,03-0,12)
Carga Volúmica (kg DBO ₅ /m ³ /día)	>3, (1,6-16)	0,32-0,64, (0,3-3,0)	<0,2, (0,16-0,40)
Tiempo de permanencia media (en horas)	<4, (0,5-4,0)	>4, (4 a 8)	>12, (18-36)
Fangos en exceso (kg MLSS/kg DBO ₅ /día)	1,2	0,9-1	<0,6
Edad de los fangos (días)	(1-5)	5-15	>15, (20-30)
Recirculación (%)	100	100	(75-500)
Índice de Mohlmann	(120-250)	(90-160)	50 a 100
MLSS (p.p.m)	1000-2000	2000 a 3000	>4000, (3000-6000)
Carga volúmica/MLSS (%)	75	70-75	55-65
Respiración Endógena (mg de O ₂ /g/hora)	10	3-10	<3
Contenido en N total por gramo de lodo (mg/g)	80	70	50

Aurelio Hernández Ed.1997

Podemos comprobar en la tabla que los parámetros que mejor se ajustan a los parámetros de diseño que nos ocupan, refiriéndonos particularmente a los valores de carga másica y volúmica, además de SSLM, y tiempos de retención, son los que corresponden a la modalidad de aireación prolongada.

Analizando las diferencias existentes entre el proceso convencional de lodos activos y las demás variantes del proceso, se opta por la modalidad de aireación prolongada.

Las diferencias del proceso seleccionado, con respecto al sistema convencional son las siguientes:

1. Mayor tiempo de retención hidráulico y celular.

Gracias a este incremento de tiempo, el fango llega a estabilizarse aeróbicamente debido a los prolongados períodos de aireación y al desequilibrio entre la cantidad de fango en el tanque y la cantidad de materia orgánica que llega. Por tanto, en la aireación prolongada el lodo que se produce es poco y muy estable, por lo que no es necesario someter a los fangos a un tratamiento de estabilización de lodos.

2. Cargas orgánicas y volúmicas menores.

En el proceso de aireación prolongada, la carga orgánica, expresada como relación de sustrato a microorganismo (A/M), se encuentra normalmente comprendida entre $0,05-0,15 \text{ d}^{-1}$, frente a los valores de $0,2-0,4 \text{ d}^{-1}$ del proceso convencional de lodos activos. La carga volumétrica también se reduce considerablemente de $0,32-0,64 \text{ kg DBO}_5/\text{m}^3 \text{ día}$ en el proceso convencional, a $0,16-0,40$ para aireación prolongada.

3. Mayores concentraciones de sólidos biológicos en el reactor.

Estos varían entre $3000-6000 \text{ mg/l}$ en la aireación prolongada frente a $1500-3000 \text{ mg/l}$ del proceso convencional. El hecho de existir pequeñas cargas orgánicas para una gran población de microorganismos hace que aparezcan condiciones de respiración endógena, reduciendo la producción neta de los

sólidos en suspensión volátiles del licor mezclado, con lo que se consigue una beneficiosa disminución en la acumulación de lodos.

4. Mayor consumo de oxígeno en el proceso de aireación prolongada. Debido a los grandes volúmenes tratados y a los tiempos de residencia altos, se requiere mayor necesidad de aireación que para el proceso convencional.

Todo ello supone el diseño de un reactor biológico, cuyo sistema de tratamiento sea lodos activos por aireación prolongada, con un volumen relativamente mayor al que tendríamos si hubiéramos optado por el método convencional. Sin embargo, ello se compensa gracias a tiempos de residencia altos que nos permitan trabajar en condiciones favorables de respiración endógena. Beneficiándonos de este último factor, ya que supone la producción pequeña de lodos estables, evitando el tratamiento posterior de éstos.

4.2.2. Selección del tratamiento terciario adecuado

Se ha optado el sistema de tratamiento de luz ultravioleta por los siguientes motivos:

En la primera tabla se muestran las ventajas e inconvenientes, a modo resumen que presentan las diferentes alternativas, resumidas en cloración, ozonización y la que nos ocupa, luz ultravioleta.

En la segunda tabla, podemos ver un cuadro que compara los efectos germicidas de los diferentes desinfectantes.

El principal declinante a favor ha sido la inexistencia de elementos tóxicos en nuestro efluente tras el tratamiento. Es una desventaja que limita, por la cercanía con la población y el uso posterior que le vamos a dar, la aplicación de los dos primeros métodos.

Además, en el caso de la cloración, se necesita un tratamiento posterior de dechloración, que nos ahorramos en el caso de la luz UV.

Otro punto a favor es la gran evolución que está experimentado esta tecnología, disminuyendo su coste a la vez, y mejorando en sistemas de mantenimiento y de repuestos.

Ventajas y desventajas de la desinfección con cloro, y UV y ozono

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Cloro	
<ul style="list-style-type: none"> 1.- Tecnología bien establecida 2.- Desinfectante efectivo 3.- Cloro residual puede ser mantenido 4.- Cloro residual combinado puede ser suministrado mediante la adición de amonio 5.- Cloro residual germicida puede ser mantenido en largas línea de transmisión 6.- Relativamente poco costoso (el costo Aumenta con la implementación de las Regulaciones del UniformFireCode) 	<ul style="list-style-type: none"> 1.-Toxicidad residual del efluente tratado debe ser reducida a través de la dechloración 2.- Formación de trihalometanos y otros hidrocarbonatos de cloro 3.- Incremento de regulaciones de seguridad en especial a la luz del nuevo UniformFireCode 4.- Menos efectivo en la inactivación de algunos virus, esporas, quistes a bajas dosis usadas para organismos coliformes. 5.- Aumento del nivel de SDT del efluente tratado 6.- Aumento del contenido de cloro del agua residual 7.- Liberación de compuestos orgánicos volátiles a partir de cámaras de contacto de cloro 8.- Las instalaciones de lavado químico deben cumplir las regulaciones del UniformFireCode
UV	
<ul style="list-style-type: none"> 1.- Desinfectante efectivo 2.- No hay toxicidad residual 3.- Más efectivo que el cloro en la inactivación de la mayoría de virus, esporas , quistes 4.- Mayor seguridad 5.- Requiere menos espacio 	<ul style="list-style-type: none"> 1.- No hay medida inmediata de si la desinfección fue exitosa. 2.- No hay efecto residual 3.- Menos efectivo inactivando algunos virus, esporas, quistes o bajas dosis usadas para organismos coliformes. 4.- Relativamente costoso (el precio ha bajado a medida que se implanta mejor tecnología en el mercado)

Ozono	
1.- Desinfectante efectivo	1.- No hay medida inmediata de si la desinfección fue exitosa.
2.- Más efectivo que el cloro en la inactivación de la mayoría de virus, esporas, quistes	2.- No hay efecto residual
3.- Requiere menos espacio	3.- Menos efectivo inactivando algunos virus, esporas, quistes, a bajas dosis usadas para organismos coliformes
4.- Contribuye con oxígeno disuelto	4.- Preocupaciones de seguridad
	5.- Corrosivo
	6.- Relativamente costoso
	7.- Altamente sensible a la operación y el mantenimiento

Tchobanoglous Ed.2000

Efectividad relativa estimada de la desinfección con cloro, UV y ozono para microorganismos representativos de importancia en aguas residuales.

Dosis relativa al total de la dosis de coliformes

<i>Organismo</i>	<i>Cloro</i>	<i>Luz UV</i>	<i>Ozono</i>
Bacterias			
<i>Coliformes totales</i>	0,9-1	0,9-1	0,9-1
<i>Pseudomonasaeruginosa</i>		1,5-2	
<i>Salmonella typhi</i>	1	0,9-1	
<i>Staphylococcus aureus</i>	2,5	1,5-2	
<i>Coliformes totales</i>	1	1	1
Virus			
<i>Adenovirus</i>	0,5-1	0,6-0,8	
<i>Coxsackie A2</i>	6-7	0,8-1	
<i>Bacteriófago específico F</i>	5-6	2-4	
<i>Polio type 1</i>	6-7	2-4	
<i>Colífago MS-2</i>	5-7	6-8	2-4
<i>Norwalk</i>	5-6		
Protozoos			
<i>Acanthamoebacastellani</i>		10-12	
<i>Ooquistes de Cryptosporidium parvum</i>	8-10	10-20	6-8
<i>Quistes de Giardalamblia</i>	6-8	7-14	4-6
Otros			
<i>Huevos Nemátodos</i>		10-12	

Tchobanoglous Ed.2000

Dosis relativa basada en organismos simples, discretos y dispersos en suspensión a

un pH entre 7 y 8 y a una temperatura de 20 y 25°C. Si los organismos están asociados, las dosis relativas no tienen sentido.

Analizando los datos expuestos en dichas tablas, además de todo lo expuesto anteriormente, creemos que el método de desinfección más eficaz es por luz UV, debido a:

- El efecto germicida, en lo que se refiere a bacterias y algunos virus es mayor. En cuanto a los protozoos, el problema se soluciona con una filtración preliminar eficaz.

- A pesar de ser una tecnología cara y relativamente novedosa, se está implantando cada vez con más éxito, es por ello que su precio va decreciendo a la vez que se hace más robusta.

- Como bien dice en las desventajas, no hay una medida inmediata del estado del agua tratada, fácilmente solucionable si instalamos un sensor de medida de transmitancia a la salida del tratamiento.

- El factor más importante a resaltar es que su uso no genera impacto ambiental desfavorable, como se ha explicado anteriormente.

4.3. VIABILIDAD ECONÓMICA

El aumento incesante de las demandas de agua en contraste con la irregularidad de los recursos naturales disponibles en áreas de clima árido o semiárido, unido a una creciente sensibilidad social e institucional en materia de protección medioambiental, son argumentos suficientes para explicar el gran interés actual por la depuración/recuperación y la reutilización de las aguas residuales urbanas.

Un proyecto de reutilización de agua residual es un proyecto de suministro a la demanda, proporcionar niveles de tratamiento adecuados, almacenar el agua recuperada, y suministrar las reservas o excesos de agua de abastecimiento disponibles.

En la planificación efectiva de la recuperación y reutilización de aguas residuales, los objetivos y principios básicos de desarrollo del plan deben estar claramente definidos.

El proyecto de recuperación y reutilización óptimo se consigue integrando en un solo plan las necesidades de tratamiento del agua y las necesidades de agua de abastecimiento. Este enfoque integrado es ligeramente diferente al de planificación convencional, en los que sólo se incluye el transporte, tratamiento y vertido de las aguas residuales municipales.

El plan de recuperación y reutilización ideal debe incluir los siguientes análisis:

- 1._Determinación de las necesidades de tratamiento y evacuación de aguas residuales.
- 2._Determinación de la demanda y recursos de agua de abastecimiento.
- 3._Determinación de los beneficios en el abastecimiento del agua en función del potencial de reutilización.
- 4._Análisis de mercado para el agua residual recuperada.
- 5._Análisis económico e ingenieril de las posibles alternativas

6._Desarrollo del plan y análisis financiero.

Bases de la planificación

La recuperación y reutilización óptima del agua residual se consigue de forma más efectiva en el ámbito de una planificación multidirigida, con el esfuerzo tanto de los que gestionan el abastecimiento de agua como de los que gestionan las aguas residuales. Una vez identificados los beneficios y beneficiarios, existen diversas posibilidades de reparto de responsabilidades y gastos entre los promotores de las actuaciones.

La delimitación de la zona afectada por el proyecto es otro aspecto crítico en las labores de planificación, en las que se debe tener en cuenta dos horizontes de actuación. La zona de servicio directa al plan de actuación, es decir la zona que puede beneficiarse de los caudales de agua recuperada, y por otro lado, la zona afectada por los efectos ambientales del agua residual.

Estudio de mercado

A la hora de planificar un proyecto de reutilización de aguas residuales, es fundamental encontrar posibles consumidores capaces y deseosos de consumir agua recuperada.

El éxito de los planes de reutilización, depende en gran medida de asegurar un mercado y una salida para el agua recuperada.

El análisis consiste en dos partes:

- 1._Determinación de la información general, incluyendo los usos potenciales del agua recuperada.
- 2._Estudio de los posibles usuarios del agua recuperada y sus necesidades.

Estudio de mercado de aguas residuales recuperadas: información básica y estudio

1. Inventario de usuarios y usos potenciales del agua residual recuperada
2. Establecer exigencias de calidad del agua relacionadas con la salud y las condiciones de aplicación (fiabilidad del tratamiento, prevención del desarrollo de flujos invertidos, control de las zonas de uso, métodos de riego) para cada tipo de aplicación del agua residual recuperada.
3. Establecer exigencias normativas para la prevención del desarrollo de condiciones desagradables y problemas de calidad tales como la protección de las aguas subterráneas.
4. Desarrollar hipótesis que permitan determinar la probable calidad futura del agua disponible con los diferentes niveles de tratamiento y compararla con las exigencias normativas y de los usuarios.
5. Estimar los costes futuros de extracción de agua limpia para los potenciales usuarios de las aguas recuperadas.
6. Estudiar los posibles usuarios de agua recuperada, obteniendo la información siguiente:
 - a) Potenciales usos específicos de las aguas recuperadas.
 - b) Exigencias de calidad presentes y futuras.
 - c) Fiabilidad y distribución temporal de la demanda.
 - d) Exigencias de calidad del agua.
 - e) Modificaciones externas a la red para conversión de las aguas recuperadas y el cumplimiento de las exigencias normativas para la protección de la salud pública y la prevención de problemas de contaminación de las aguas recuperadas.
 - f) Inversiones de los usuarios para procurar las modificaciones de la red pertinentes, variaciones en los costes de explotación, plazo de amortización deseado e interés aplicable a la inversión, y ahorro en el coste del agua deseado.
 - g) Cambios futuros en el uso del emplazamiento
7. Informar a los potenciales usuarios de las restricciones normativas aplicables,

probable calidad del agua disponible con los diferentes niveles de tratamiento, fiabilidad del agua recuperada, costes futuros y comparación de la calidad del agua recuperada con la calidad de las aguas limpias

8. Determinar el interés de los usuarios potenciales en el consumo de agua residual recuperada, tanto en el presente como en el futuro

Los resultados de este estudio constituyen la base para el desarrollo de alternativas y el estudio de la viabilidad económica de un proyecto de reutilización.

Análisis Económico y Financiero.

A pesar de que los factores técnicos, ambientales y sociales, son de gran importancia en un proyecto, actualmente parece ser que los factores fundamentales a la hora de determinar la implantación o no de un proyecto de reutilización son los factores monetarios.

Sin embargo, en el futuro, en la determinación de la viabilidad de un proyecto de reutilización, se dará mayor importancia a factores ambientales y sociales, que no a la mera relación coste beneficio.

Los análisis monetarios, basados en la economía de los recursos hídricos, se pueden clasificar en dos categorías, análisis económico y financiero.

El análisis económico se centra en el valor de los recursos invertidos en la construcción y explotación de un proyecto, medido en términos monetarios. Por otro lado, el análisis financiero se centra en los costes y beneficios esperados de un proyecto, desde el punto de vista del promotor del proyecto y los entes participantes, y del resto de los afectados por el mismo. Estos costes y beneficios esperados pueden no reflejar el valor real de los recursos invertidos debido a las transferencias monetarias.

Mientras que el análisis económico valora los proyectos de recuperación y reutilización en el contexto del impacto social, el análisis financiero se centra en la posibilidad de obtener recursos económicos a partir de presupuestos, subvenciones del gobierno, préstamos y bonos para pagar el proyecto.

Básicamente, el resultado del análisis económico debería ser la respuesta a la pregunta: ¿Se debe llevar a cabo un proyecto de reutilización?; Sin embargo, la siguiente pregunta es de igual importancia: ¿Se puede llevar a cabo un proyecto de reutilización?;

Ambos enfoques son necesarios, pero sólo se someten a análisis financiero aquellos proyectos de recuperación y reutilización de aguas residuales que resultan viables económicamente.

Coste y precio del agua

Un aspecto importante en el análisis monetario de los proyectos de reutilización es la diferencia entre el coste y el precio del agua.

En el análisis económico, sólo se considera el futuro flujo de recursos invertidos u obtenidos a partir del proyecto. Las inversiones en recursos realizadas en el pasado se consideran a fondo perdido, por tanto, no tienen importancia alguna en las futuras decisiones de inversión.

El precio del agua, es el precio pagado a un distribuidor de agua por la compra de esta. Suele reflejar el conjunto de desembolsos, pasados y actuales, realizados para la construcción del proyecto y para cubrir los costes administrativos del sistema que suelen ser fijos. En el análisis económico sólo son importantes los costes de construcciones, explotación y mantenimiento futuros.

Para determinar el beneficio en el abastecimiento de agua de un proyecto de reutilización en un análisis económico, se debe tratar como una nueva fuente de recursos hídricos. Al llevar a cabo este análisis, los costes importantes son, por un lado futuros costes de construcción de nuevas

instalaciones de agua de abastecimiento, y explotación y mantenimiento de todas las instalaciones necesarias para el tratamiento y distribución de la nueva fuente de suministro. Por lo tanto, el precio actual y futuro del agua no proporcionaría una base de comparación válida para la valoración de los beneficios de un plan de reutilización de aguas.

La consideración de los precios cobrados por el agua limpia recuperada es importante para la viabilidad financiera del proyecto. El precio que se cobra a los usuarios es el coste anticipado del agua y, por tanto, los precios tendrán en cuenta a los potenciales usuarios a la hora de determinar su voluntad de participación en el proyecto de reutilización.

5. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO DE DEPURACIÓN.

5.1. PRETRATAMIENTO.

El primer paso en la depuración del agua residual, el pretratamiento, se define como la eliminación de elementos gruesos, grasas, arenas, y partículas discretas, cuya presencia en el efluente perturbaría el tratamiento total y el eficiente funcionamiento de las máquinas, equipos e instalaciones de la estación depuradora.

El pretratamiento generalmente consta de los siguientes procesos:

- Desbaste, cuyo objeto es la eliminación de sustancias muy voluminosas.
- Desarenado, para la eliminación de arenas y sustancias sólidas densas en suspensión.
- Desengrasado, para la eliminación de grasas y aceites presentes en el agua residual.

5.1.1. *Desbaste de gruesos. Rejas y Tamices.*

El desbaste o tamizado se lleva a cabo través de un sistema de rejas y/o tamices cuyo objeto es retener y separar los cuerpos voluminosos flotantes y en suspensión que arrastra consigo el agua residual. De esta forma se consigue:

- ✓ Proteger bombas, válvulas y conducciones contra posibles daños y obturaciones.
- ✓ Aumentar la eficacia de los tratamientos posteriores.
- ✓ Reducir, indirectamente, el consumo de oxígeno necesario para la depuración.

El tamizado es por lo general la primera operación unitaria encontrada en una planta de tratamiento. Los equipos para interceptar y retener sólidos gruesos constan, en esencia, de un tamiz de barras o varillas paralelas, denominado rejilla. El término tamiz también se emplea para describir

equipos de tamizado formados por platos perforados, mallas en sección cuña y telas metálicas.

Descripción de equipos de tamizado usados para el pretratamiento de agua residual

Clase	Tipo	Clasific.	Abertura del tamiz		Material	Aplicación
			in	mm		
Rejillas	Limpieza manual	Grueso	1.0-2.0	25-50	Barrotes	Remoción de sólidos suspendidos gruesos.
	Limpieza mecánica	Grueso	0.6-3.0	15-75	Barrotes	T. preliminar en la remoción de sólidos finos
	Rejilla fina	Fino-grueso	0.125-0.50	3-12.5	Barrotes delgados	T. preliminar
Rejillas finas	Plato perforado	Fino-grueso	0.125-0.75	3-9.5	Plato perforado	T. preliminar
	Tambor rotatorio	Fino-grueso	0.125-0.50	3-12.5	Malla de cuña en acero inox.	T. preliminar
Tamiz fino	Parabólico fijo	Fino	0.01-0.125	0.25-3.2	Malla de cuña en acero inox.	T. preliminar
	Tambor rotatorio	Fino	0.01-0.125	0.25-3.2	Malla de cuña en acero inox.	T. preliminar
	Disco rotatorio	Muy fino (micro)	0.006-0.015	0.15-0.38	Tela de acero inox.	T. preliminar

Tchobanooglous Ed.2000

a) Rejas de barras

Las rejas de barras suelen tener aberturas libres entre barras de 15 mm o mayores, mientras que los tamices perforados o rejas finas, se caracterizan por disponer de aberturas libres inferiores a los 15 mm, y se

emplean en plantas de pequeño tamaño, en las que se eliminan sólidos de menor tamaño.

Para la limpieza del material retenido se pueden emplear procedimientos manuales o automáticos, según la importancia de la estación y cantidad de materia retenida, diferenciando pues dos tipos de rejillas: limpieza manual y limpieza automática.

Información típica para el proyecto de rejillas de barras de limpieza manual y mecánica

Característica	Limpieza Manual	Limpieza Automática
<i>Tamaño de la barra:</i>		
Anchura, mm	5-15	5-15
Profundidad, mm	25-37,5	25-37,5
Separación entre barras, mm	25-55	15-75
Pendiente en relación con vertical, grados	30-45	0-30
Velocidad de aproximación, m/s	0,3-0,6	0,6-1,1
Pérdida de carga admisible, mm	150	150

MetCalf y Eddy Ed.1995

- **Rejas de limpieza manual.**

Este tipo de rejillas se usan con bastante frecuencia en pequeñas estaciones de bombeo, antes de las bombas. También suelen encontrarse en pequeñas plantas de tratamiento, aunque la práctica reciente tiende a la instalación de rejillas de limpieza mecánica, con objeto de reducir el trabajo manual de limpieza y eliminación de basuras, además de evitar los reboses y desbordamientos que se producen por la obturación de aquellas.

Se colocan en el canal de entrada a las mismas con una inclinación de 30-45° con la vertical, evitándose baches o imperfecciones, de modo que se evite la acumulación de arenas y demás materiales pesados.

Preferiblemente el canal deberá ser recto y perpendicular a la reja, consiguiéndose una distribución uniforme de sólidos en el flujo y en la reja.

La longitud de la misma debe ser asequible a la acción de rastrillar a mano, por tanto, los barrotes de la reja no serán menores de 10 mm de anchura por 50 mm de profundidad. La retirada de sólidos retenidos se lleva a cabo utilizando un rastrillo, o elemento similar. En la parte superior de la reja deberá colocarse una placa perforada para que los objetos rastrillados puedan almacenarse temporalmente para su drenaje.

Con objeto de procurar suficiente superficie de reja durante las operaciones de limpieza, se deberá limitar la velocidad de aproximación a 0,45 m/s a caudal medio.

- ***Rejas de limpieza mecánica.***

Las rejas de limpieza automática se han venido empleando desde hace más de 50 años.

En este caso, la retirada de los sólidos la llevan a cabo unos rastrillos deslizantes acoplados al mismo dispositivo, que arrastran los residuos acumulados hacia unas bandejas de recogida, desde donde han de ser finalmente retirados por el operador.

El automatismo del sistema limpiador puede ser regulado:

- Con intervalo de tiempo fijo.
- Con intervalo de tiempo modificado con arreglo al grado de obstrucción de la rejilla.

Las rejas de limpieza mecánica se dividen en cuatro tipologías principales, rejas de funcionamiento mediante cadenas, rejas de movimiento oscilatorio, catenarias, y rejas accionadas mediante cables.

De este tipo de rejas, se han seleccionado las diferentes alternativas, exponiendo sus ventajas e inconvenientes:

- Rejas de cadena.

En este tipo de rejas, la limpieza se llevará a cabo por la cara anterior (aguas arriba) de la reja o por la cara posterior de la misma (aguas abajo).

- Ventajas:

En general, las rejas de limpieza y retorno frontales son más modernas y eficientes en la retención de sólidos. Son adecuadas para redes de alcantarillado tipo separativo.

En las rejas de limpieza por la parte posterior, los rastrillos limpiadores vuelven a la parte inferior de la reja, por su cara posterior, pasan por debajo de aquella, y proceden a su limpieza con un movimiento ascendente, de esta manera se minimiza el potencial de bloqueo del peine, siendo necesaria una placa articulada para cerrar el espacio que se abre por debajo de la reja.

- Inconvenientes:

Las de limpieza frontal, son menos robustas y más susceptibles a que el peine se encalle por la acumulación de sólidos en la base de la reja.

Las de limpieza posterior, presenta arrastre de sólidos aguas abajo, especialmente cuando los rastrillos presentan un desgaste importante. Es menos robusta que las demás, ya que la parte posterior de la reja no está diseñada para permitir el paso de los dientes del rastrillo.

Ambas, presentan el problema de que las de cadenas de transmisión están sumergidas, lo cual provoca dificultades de mantenimiento.

Otros inconvenientes que presentan son el ajuste y separación de las pesadas cadenas de transmisión, y la necesidad de vaciar el canal para llevar a cabo la inspección y reparación de los componentes sumergidos.

- Reja oscilante.

Las rejas de barras de limpieza mediante movimientos oscilatorios imitan la secuencia de movimientos de una persona que rastrilla la reja. El rastrillo se desplaza hasta la parte inferior de la reja, se coloca entre las barras, y asciende arrastrando los sólidos hasta la parte superior de la misma, desde donde son extraídas.

- Ventajas:

Todos los componentes que precisan actuaciones de mantenimiento se sitúan por encima del nivel del agua, de modo que su inspección y mantenimiento no hace necesario el vaciado del canal

El sistema de limpieza y retorno frontal minimiza el arrastre de sólidos.

- Inconvenientes

Dispone únicamente de un rastrillo de limpieza en lugar de los múltiples rastrillos empleados en las rejillas de limpieza mediante cadenas, lo cual limita la capacidad de la rejilla para tratar aguas con altos contenidos en residuos.

- Rejas catenarias

Son de limpieza y retorno frontales, el rastrillo se mantiene en contacto con la rejilla gracias al peso de la cadena.

- Ventajas:

No tiene ruedas dentadas sumergidas, evitándose los problemas que de ello se derivan.

- Inconvenientes

La gran superficie requerida para su instalación.

- Reja accionada con cable.

Son de limpieza y retorno frontales y emplean un rastrillo pivotante que asciende y desciende por unas guías, accionado por un dispositivo formado por un cable y un tambor. El rastrillo desciende por gravedad, pivota hasta engancharse con la rejilla, y se eleva por acción del cable.

- Ventajas:

El rastrillo es el único elemento mecánico que se sumerge en el agua residual.

- Inconvenientes:

La limitada capacidad de rastrillado y los problemas de mantenimiento asociados al destensado de los cables, a su enrollamiento en los tambores, y a fallos en el funcionamiento de los mecanismos de frenado.

b) Rejillas finas o tamices perforados

La abertura en los tamices con secciones finas puede variar desde 3 a 15 mm, y se someten a limpieza mecánica mediante rastrillos reciprocantes o tornillos hélicos. Son diseñados para operar en línea dentro del canal transportador de agua residual como la rejilla fina, o como unidad externa, los platos perforados o tambor rotatorio.

c) Tamices finos

Existen tres tipos principales, estáticos de malla inclinada con forma de cuña, o de tambor y de discos giratorios, provistos de una malla fina de acero inoxidable o de un material no férreo. Normalmente las aberturas de los tamices oscilan entre 0,2 y 3,2 mm.

- *Estáticos de malla en sección de cuña*

Tienen aberturas entre 0,2 y 3,2 mm, y es usado en el tratamiento preliminar de aguas, posteriormente a un tamizado grueso.

Se diseñan para caudales entre 400 y 1200 l/m². min de superficie de tamiz, y generan pérdidas de carga entre 1,2 y 2,1 m.

La malla filtrante está formada por pequeñas barras de acero inoxidable en sección en cuña orientadas de forma que la parte plana de la misma quede de cara al flujo.

Precisan de una superficie considerable, y se deben limpiar varias veces al día con agua a presión o desengrasante para evitar las acumulaciones de grasa.

- *Tamiz de tambor giratorio*

La malla ranurada o con sección en cuña se monta sobre un cilindro giratorio que se coloca en el canal.

El agua puede entrar por un extremo y salir a través de la malla filtrante, recogándose los sólidos en la parte interior de esta, o bien, entrando por la parte superior y saliendo por el interior de éste, produciéndose la recogida en la parte superior exterior del mismo.

Generan pérdidas de carga entre 0,8 y 1,4 m.

Están disponibles para diámetros desde 0,9 y 1,5 m y longitudes que van desde 1,2 a 3,7 m.

- Disco rotatorio

Se utilizan en remplazo a los tanques de sedimentación primaria, y tienen aberturas libres entre 0,15 y 0,38 mm.

d) Residuos extraídos

La cantidad y características de los residuos extraídos depende del tipo y tamaño de rejillas y/o tamices empleados, del tipo de red de alcantarillado, y de la situación geográfica de la instalación.

La cantidad de residuos separados en las rejillas de barras varía generalmente de 0,0035 a 0,0375 m³/ 10³ m³ de agua residual tratada. Están compuestos básicamente de rocas, ramas, pedazos de madera, hojas de árboles, papel, raíces, plásticos y trapos. También se puede retener algo de materia orgánica.

En tamices, oscila desde 0,0375 a 0,225 m³/ 10³ m³ de agua residual tratada y son generalmente trozos de tela, papel, materiales plásticos, cuchillas de afeitar, arenas, residuos de comida, heces, etc. En comparación con los residuos del tamizado grueso, tienen mayor contenido en humedad y peso específico menor.

Hay que tener en cuenta la acumulación de grasas y aceites en estos equipos, sumándole también la presencia de materia orgánica susceptible de descomposición, que da lugar a la generación de malos olores. Por ello necesitan de un especial manejo y disposición.

Los medios para eliminarlos pasan por el transporte a vertederos, soterramiento en la propia planta, incineración aislada o conjunta con fangos y arenas, eliminación conjunta con residuos sólidos urbanos, descarga a trituradores.

La primera opción es la más acertada en el caso de nuestra planta, debido a la pequeña cantidad de residuos generados.

A pesar de ser una instalación pequeña, por razones de mantenimiento y explotación, se evitará la colocación de rejillas de limpieza manual.

Al provenir las aguas de la red de saneamiento separativa, la presencia de grandes sólidos se hace casi nula.

El desbaste se situará a la entrada de la planta y en una arqueta con un sistema de rejillas perforadas y limpieza automática.

5.1.2. Desarenado.

El término arena se emplea para referirnos a las arenas, gravas, cenizas y cualquier otro material pesado cuya velocidad de sedimentación sea considerablemente mayor a la de los sólidos orgánicos susceptibles a la descomposición.

La retirada de estos sólidos se realiza en depósitos donde se remansa el agua, al reducirse su velocidad como consecuencia del aumento de sección de paso. Las partículas en suspensión, de mayor peso específico, sedimentan en el fondo de estas unidades, llamadas desarenadores.

Como norma general, para todas las poblaciones equivalentes superiores a 500 habitantes deberá colocarse un desarenador según la bibliografía, Hernández Lehmann 1996.

El desarenado se lleva a cabo con la finalidad de:

- ✓ Proteger los equipos mecánicos de la abrasión y el excesivo desgaste.
- ✓ Reducir la formación de depósitos de sólidos pesados en unidades y conductos aguas abajo.
- ✓ Reducir la frecuencia de limpieza de los digestores por acumulación excesiva de arena.

Normalmente, los desarenadores se ubican después de las unidades de desbaste y antes de los tanques de sedimentación primaria. Existen tres

clases principales, los de flujo horizontal para canales de sección rectangular y cuadrados, aireados y de vórtice.

- *Flujo Horizontal tipo canal*

Opera en la práctica a velocidades controladas cercanas a 0,3 m/s, proporcionando tiempo suficiente para que las partículas de arena más pesadas sedimenten en el fondo del canal y las partículas orgánicas pasan a través del sedimentador.

La velocidad de flujo se controla con las dimensiones del canal y el uso de vertederos en secciones especiales para el efluente.

Las partículas sedimentadas se extraen por medio de un mecanismo transportador dotado de rascadores o cangilones, y la elevación de las mismas se realiza mediante tornillos o elevadores de cangilones.

- *Flujo Horizontal rectangular*

El agua a tratar pasa a través de una cámara en dirección horizontal. La velocidad del flujo se controla con las dimensiones del canal, ubicando compuertas especiales a la entrada mejorando la distribución del flujo, o utilizando vertederos de salida con secciones especiales.

- *Flujo Horizontal cuadrados*

El caudal afluyente a la unidad se distribuye por toda la sección transversal del tanque mediante una serie de compuertas o deflectores, y el agua residual distribuida circula a través del tanque fluyendo hasta rebosar por un vertedero de descarga libre.

Los sólidos sedimentables se transportan por medio de barredores mecánicos de rotación hasta un pozo ubicado a un lado del tanque. Estos se extraen con ayuda de mecanismos inclinados como rastrillos reciprocantes o tornillos sin fin; o bien por un ciclón desarenador para separar el material orgánico presente que retorna al tratamiento, y concentrar las arenas, que se someterán a una etapa de lavado.

- Aireados

Las arenas se remueven por causa del movimiento en espiral que realiza el agua residual. Debido a su masa, las partículas de arena se aceleran y abandonan las líneas de flujo hasta que alcanzan el fondo del tanque, ya que el flujo en espiral es un campo con aceleración variable inducido por el aire inyectado. El éxito de estos frente a los de flujo horizontal radica en el mínimo desgaste de los equipos de manipulación de arena, y que no se requiera una unidad independiente de lavado de arenas. Sin embargo, a la hora de diseñar, hay que considerar la liberación de COV en este tipo de unidades.

La sección transversal se diseña para crear un flujo en espiral, por ello incluye un canal colector de arenas de 0,9 m de profundidad, con paredes laterales muy inclinadas, ubicado a lo largo del fondo del tanque justo debajo de los difusores de aire. Los difusores se ubican entre 0,45-0,6 m por encima del fondo del tanque. Para mejorar la eficiencia se ubican deflectores tanto a la entrada como a la salida y ejercer así, un control hidráulico sobre el elemento.

- De Vórtice

La separación de arenas se lleva cabo en elementos en los que el flujo de agua provoca la formación de un vórtice.

En los de tipo <<Teacup>> la entrada y salida del agua residual se lleva a cabo en dirección tangencial. La turbina giratoria mantiene una velocidad de circulación constante, y sus palas giratorias promueven la separación de la materia orgánica de la arena. La acción de la turbina induce una trayectoria toroidal de las arenas. En cada giro completo, la arena sedimenta por gravedad y se recoge de un cuenco mediante una bomba de arenas y posterior hidrociclón para separación de materia orgánica, o mediante tipo air-lift. y posterior tamiz autolimpiable con malla de sección cuneiforme.

En el segundo tipo la entrada de agua tangencial se lleva a cabo por la parte superior generando un vórtice libre. El efluente sale por la parte superior desde un cilindro rotatorio u ojo del fluido. Dentro de este cilindro, las fuerzas gravitacionales minimizan la liberación de partículas con

densidades mayores que el agua. La arena sedimenta por gravedad, mientras que la materia orgánica abandona el aparato junto con el efluente.

La pérdida de carga es función del tamaño, creciendo de manera importante con el menor tamaño de partícula.

La arena se extrae del desarenador mediante una cinta transportadora.

a) Características de las arenas

Las arenas consisten en arena, grava, cenizas y otros materiales pesados con pesos específicos o velocidades de sedimentación considerablemente superiores a los de los sólidos orgánicos putrescibles. Además también incluye cáscaras de huevo, pedazos de hueso, semillas, granos de café, y partículas orgánicas de gran tamaño, como residuos de comida.

La fracción que se elimina como arena es básicamente inerte y relativamente seca. La composición de las mismas es muy variable, con un contenido en humedad entre el 13 y 65 por 100, y un contenido volátil entre el 1 y 56 por 100. El peso específico de la arena limpia alcanza valores del orden de 2,7 hasta 1,3 si contiene gran cantidad de materia orgánica.

La densidad global que caracteriza a las mismas alcanza 1600 kg/m^3 .

Es difícil interpretar los datos de eliminación de arenas debido a que éstas están poco caracterizadas y apenas existen datos sobre eficiencias relativas de eliminación. Los máximos valores de retención se consiguen sobre un tamiz núm. 100 (0,15 mm) alcanzándose en ocasiones valores de retención del 100 por ciento.

La cantidad de arena varía ampliamente de una localidad a otra, dependiendo del tipo de sistema de recolección, las características del área de drenaje, el estado de la red de alcantarillado, y la cantidad de terreno arenoso de la zona.

b) Lavado de arenas

Las características de las arenas recogidas en desarenadores de flujo horizontal y de ciclón varían ampliamente entre lo que normalmente se suele

conocer con el nombre de arena limpia hasta presentar un alto contenido en materia putrescible. Las arenas no lavadas pueden contener hasta un 50 por 100 de materia orgánica, que si no se evacua con rapidez puede atraer insectos y roedores, liberando además olores desagradables como consecuencia de la liberación de ácidos grasos volátiles.

Existen dos tipos principales de lavadores de arenas. El primero consta de un dispositivo con un rastrillo oscilante sumergido en su extremo inferior, y proporcionando la agitación necesaria para la separación de la arena y el material orgánico, al mismo tiempo que impulsa la misma hasta el punto de descarga situado por encima del nivel del agua. El segundo tipo emplea un tornillo inclinado que transporta la arena por un conducto inclinado ascendente. Además, ambos equipos se pueden rociar con agua para mejorar la acción limpiadora.

5.1.3. Desengrasado.

Las grasas y aceites, junto con los sólidos suspendidos, tienden a acumularse sobre la superficie de los sistemas de disposición sobre el suelo, limitando la capacidad de infiltración del terreno. Además ocasionan graves problemas debido a su persistencia. Para evitar estos problemas ocasionados, la concentración de grasas y aceites en el efluente debe ser menor a 30 mg/L.

Los problemas asociados con la remoción de grasas y aceites se han hecho cada vez más complejos, debido al aumento en el número de productos de cocina que contienen grasas y aceites. El problema se agrava aún más con la presencia de aceites solubles a temperaturas relativamente bajas, lo cual dificulta su remoción.

Los principales problemas que hacen necesaria su eliminación se indican a continuación:

- En rejillas finas causan obstrucciones.
- En los decantadores forman una capa superficial que dificulta la sedimentación al atraer hacia la superficie pequeñas partículas de materia orgánica.

- En la depuración por el sistema de fangos activados dificultan la correcta aireación, disminuyendo el coeficiente de transferencia al 55-70 %.
- Perturban el proceso de digestión de lodos.
- La DQO se incrementa en un 20% a 30 %.

Las cantidades de grasas incorporadas en las aguas residuales son muy variables, pero para aguas urbanas, pueden considerarse unas cifras de 24 gramos por habitante y día, o bien el 28 % de los sólidos en suspensión.

Los sistemas más empleados para la remoción de grasas son:

1. Tanques separadores de grasas:

Un tanque separador de grasas consiste en un depósito en el que la materia flotante ascienda y permanezca en la superficie del agua residual hasta que se recoja y elimine, mientras que el líquido sale del tanque de forma continua, a través de una abertura situada en el fondo.

La salida, que está sumergida, se halla situada en el lado opuesto a la entrada y a una cota inferior a ésta para facilitar la flotación y eliminar cualquier sólido que pueda sedimentarse.

2. Separación de grasas residuales en las balsas de decantación:

Este sistema permite retirar las grasas por medio de rasquetas superficiales.

3. La desemulsión de las grasas en el desarenador mediante aireación:

Este sistema combina la remoción de arenas por aireación y de espuma o natas por barrido superficial. En la unidad, el agua residual cruda ingresa directamente a la cámara desarenadora siguiendo una trayectoria en espiral inducida por el aire inyectado. Este flujo en espiral ayuda a limpiar las arenas, que posteriormente se acumulan en el fondo del tanque.

Después de la remoción de arenas, el agua ingresa en la zona de remoción de grasas atravesando un vertedero de control. La arena acumulada en la

primera zona y las grasas retenidas se evacuan con ayuda de un puente móvil que cuenta con una unidad para el bombeo de arenas y un barredor superficial para las grasas. El tamaño de las partículas de arena removidas se controla con ajustes en el suministro de aire. La máxima remoción de arenas se logra con una longitud mínima de 15,2 m.

Esta última alternativa presenta las siguientes ventajas:

- ✓ Las velocidades de sedimentación de las arenas y de flotación de las partículas de grasa no se modifican prácticamente. Ello es lógico si se considera la diferencia de densidades entre las partículas de arena y de grasa.
- ✓ El aire comprimido añadido ayuda a impedir la sedimentación de las partículas de fango, poco densas, por lo que la arena depositada en el fondo del desarenador es más limpia.
- ✓ Las partículas de arena, al sedimentar, disminuyen las velocidades ascensionales de las partículas de grasa. Disponen así éstas de más tiempo para ponerse en contacto entre sí durante su recorrido hacia la superficie, aumentándose el rendimiento de la flotación de grasas.

Como puede verse, la realización de los procesos de desarenado y desengrasado conjuntamente en un solo depósito conduce a resultados positivos en los rendimientos alcanzados en ambos procesos.

Por otro lado, al poder realizarse estos procesos simultáneamente, se puede conseguir ahorro de volumen total necesario para la realización de ambos procesos, adoptando como determinante y único, el mayor volumen de los dos necesarios para cada uno de los procesos.

En el presente proyecto, no se ha contemplado ni un sistema de desarenado, ni un sistema de eliminación de grasas por los siguientes motivos:

- *Se dispone de un tamiz que realiza las funciones de desarenado, con lo cual podemos omitir la unidad de desarenado y el gasto de inmovilizado que supone. Además de ahorrarnos el cierre de la unidad y el equipo de desodorización.*
- *El caudal a tratar es muy pequeño y sólo proviene de viviendas particulares, por lo tanto la concentración de grasas a la entrada es mínima, quedando la mayor parte retenida la unidad de debaste. Por ello es imprescindible un buen lavado con agua caliente a presión de dichas unidades.*

5.2. TRATAMIENTO SECUNDARIO.

5.2.1. Tratamiento biológico mediante el proceso de fangos activos.

Es el proceso de tratamiento biológico más ampliamente empleado en el tratamiento secundario de aguas residuales.

Fue desarrollado por primera vez en Inglaterra 1914 y su nombre proviene de la producción de masa activa de microorganismos capaz de estabilizar un residuo por vía aerobia.

El proceso puede describirse en un reactor, donde se mantiene un cultivo bacteriano en suspensión, el contenido se conoce como líquido mezcla.

El ambiente aerobio en el reactor se consigue mediante el uso de difusores o aireadores mecánicos, que también sirven para mantener el líquido mezcla en estado de mezcla completa.

Al cabo de un período determinado de tiempo, la mezcla de las nuevas células con las viejas se conduce hasta un tanque de sedimentación para su separación del agua residual tratada. Una parte de las células sedimentadas se recircula para mantener en el reactor la concentración de células deseada, mientras que la otra parte se purga del sistema. La fracción purgada corresponde al crecimiento de tejido celular, rg' , asociada a un agua residual determinada.

El nivel al que se debe mantener la mas biológica depende de la eficacia deseada en el tratamiento y de otras consideraciones relacionadas con la cinética del crecimiento.

5.2.2. Cinética del crecimiento bacteriano.

El grado de reproducción depende de la concentración del sustrato, de los nutrientes y de la temperatura. La curva de crecimiento comprende cuatro zonas:

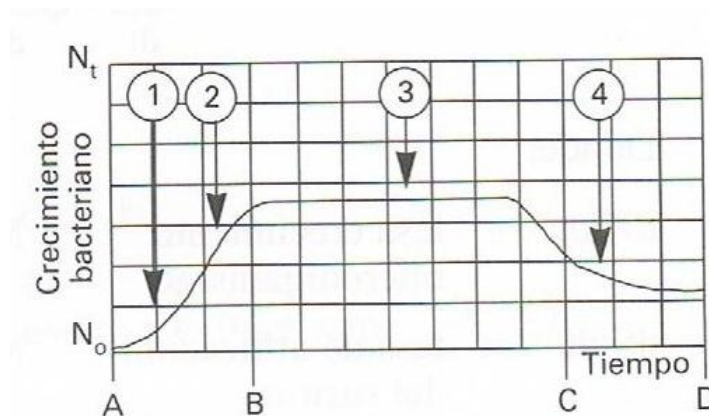
1. De retardo durante la cual los microorganismos se aclimatan al nuevo medio de vida. Es lento
2. De crecimiento constante. La célula se divide a velocidad constante, hay alimento en exceso y el crecimiento depende del sustrato.

3. Estacionaria. Crecimiento nulo como consecuencia de la constancia del alimento.

4. De decrecimiento. Al terminarse el alimento y comenzar la escasez aparece la denominada fase endógena, donde los microorganismos consumen sus propias reservas de protoplasma, y posteriormente unos sirven de alimentos a otros.

En la siguiente gráfica quedan reflejadas estas etapas, donde se incorpora una cantidad constante de alimento y se observa la evolución de los microorganismos en función del tiempo.

Evolución del número de organismos en función de la evolución del sustrato



Zona AB: Aportación en exceso de sustrato

Zona BC: Equilibrio entre aportación y microorganismos

Zona CD: Sin aportación de sustrato

Aurelio Hernández Ed. 2001

Para asegurar el crecimiento de los microorganismos se les debe permitir un tiempo de permanencia suficiente en el sistema para que éste se produzca con éxito. Este tiempo de permanencia va a depender de la tasa de crecimiento, que se relaciona directamente con la velocidad a la cual metaboliza el sustrato.

Suponiendo que las condiciones ambientales estén debidamente controladas, se puede asegurar una eficaz estabilización del residuo mediante el control de la tasa de crecimiento de los microorganismos.

- Modelos específicos del proceso

Igualmente siguiendo el modelo del proceso de fangos activos, Materia Orgánica + O₂ + Nutrientes + BACTERIAS → Nuevas células + CO₂ + H₂O, se deducen una serie de modelos expuestos a continuación.

- Tasa de eliminación de materia orgánica

$$r_0 = \frac{k \cdot C \cdot X}{K + C}$$

siendo:

r_0 = (g/m³ · d) tasa de remoción de materia orgánica

k = máximo valor de crecimiento

C = concentración orgánica en g (DBO_u)/m³

X = (g/m³) de M.L.S.S.V

K = (g/m³) constante de saturación media. La concentración del sustrato para la cual la tasa de utilización por unidad de peso de microorganismos es la mitad de la tasa máxima, en masa/volumen.

Similar a la desarrollada por MONOD para establecer la relación entre la concentración de un nutriente y la tasa de crecimiento de los microorganismos.

Tasa de eliminación de materia orgánica en el proceso biológico de fangos activos

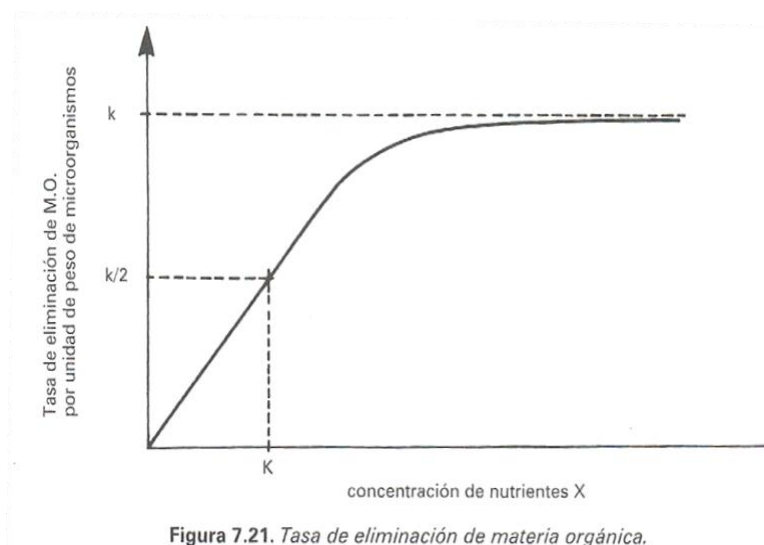


Figura 7.21. Tasa de eliminación de materia orgánica.

Aurelio Hernández Ed. 2001

- Tasa de crecimiento de microorganismos.

Siguiendo las consideraciones estequiométricas, y considerada la mortandad de microorganismos puede escribirse:

$$r_g = Y \cdot \frac{k \cdot C \cdot X}{K + C} - k_d \cdot X$$

siendo:

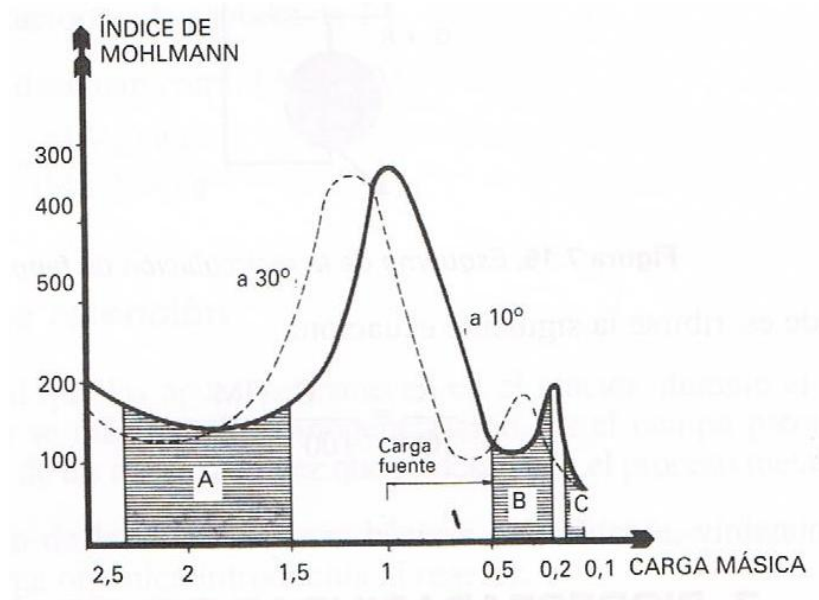
K_d = coeficiente de desaparición de microorganismos

Y = coeficiente de producción, en g. de microorganismos producidos/ g. de materia orgánica eliminada.

5.2.3. Rendimientos

En la figura aparecen curvas de relación entre la carga másica y el índice de Mohlmann para distintos tipos de depuración por fangos activos.

Relación de la carga másica y el índice de Mohlmann



Aurelio Hernández Ed. 2001

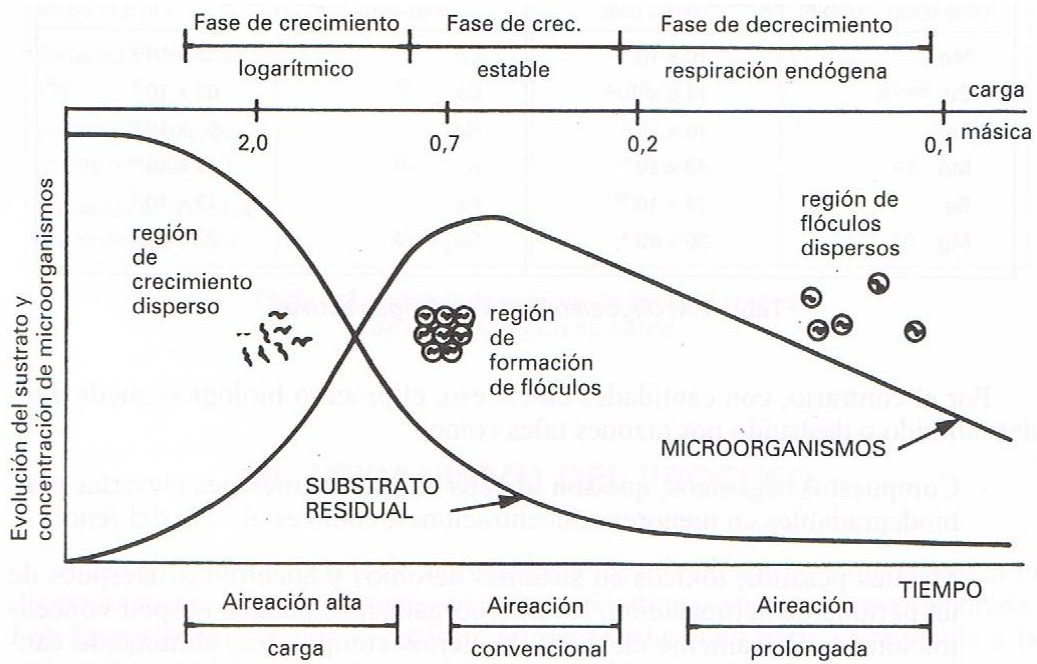
Se observan tres zonas mínimas del I.M, que señala zonas en que la floculación se produce mejor en los reactores biológicos.

A = Zona alta carga

B = Zona carga media

C = Zona aireación prolongada

Crecimiento de microorganismos y evolución del sustrato



Aurelio Hernández Ed. 2001

Obteniéndose rendimientos en DBO_5 de:

- Rendimientos de carga alta 80%
- Rendimientos de carga media 90%
- Rendimientos con aireación prolongada 96%

Conociendo el rendimiento a alcanzar, en función de las condiciones de vertido, se adoptará un tipo u otro de sistema. Se debe tener en cuenta que, cuanto más baja carga se adopte, se obtienen mayores rendimientos, pero se precisan mayores volúmenes y mayor consumo energético.

En la tabla "Rangos de valores de los parámetros de diseño, según su carga", de la viabilidad técnica", se pueden ver los parámetros característicos para los diferentes tipos de aireación.

5.2.4. Constitución de los procesos biológicos de fangos activados

El proceso biológico por fangos activados quedará integrado por un reactor biológico y una decantación secundaria. Normalmente ambos escalones del proceso se materializarán en dos tanques o depósitos separados, pero existen también soluciones de tanques combinados, e incluso pueden utilizarse depósitos únicos actuando alternativamente como reactor y decantador.

El reactor biológico puede adoptar cualquiera de las dos formas compatibles con el sistema de aireación y agitación elegidas. Puede adoptar forma de canal, tanques rectangulares o circulares.

Debido a ello, aparecen distintos sistemas funcionales que se describirán a continuación.

- **Proceso convencional (flujo pistón)**

La recirculación se realiza en un solo punto, a la entrada del agua en el tanque, y la mezcla va recorriendo el tanque desde la entrada a la salida de forma conocida como flujo pistón, con una fuerte tasa de crecimiento inicial del cultivo que va descendiendo conforme recorre el tanque. Se utiliza para aguas residuales de baja concentración.

- **Mezcla completa**

En el proceso de tanque agitado la recirculación de los lodos se realiza en varios puntos del reactor, mezclándose previamente con el agua residual. De esta forma se tiene una concentración homogénea en todo el tanque. El mismo efecto puede obtenerse haciendo la entrada agua-fango en un solo punto, pero manteniendo un sistema de agitación y una disposición de la entrada y la salida, en forma tal que se conserve la homogenización de la mezcla en todo el tanque. Este proceso tiene aplicaciones generales y es resistente frente a cargas de choque, pero es susceptible al crecimiento de organismos filamentosos.

- Alimentación escalonada

El proceso convencional de alimentación escalonada representa otra forma de mejorar el aprovechamiento en la aireación del agua. En este proceso se regula la alimentación del agua, graduándola a lo largo del reactor con objeto de igualar la carga másica en el mismo. La aireación puede hacerse de forma uniforme o graduada. Se utiliza en aplicaciones generales con un amplio campo de tipos de aguas residuales.

- Contacto-estabilización

El tanque de aireación queda dividido en dos partes: Una de ellas donde se realiza el contacto agua-fango, constituyendo el tanque de floculación. El segundo tanque, llamado de activación, recibe el fango recién recogido del sedimentador, se airea sin presencia de sustancias orgánicas de nuevo aporte, y por ello se agotan las reservas de materia orgánica presente en el proceso. Cuando este fango llega a la cámara de mezcla resulta muy ávido de la materia orgánica del agua residual, acelerándose sensiblemente el proceso.

- Aireación prolongada

Se realiza con tiempos de retención hidráulica y de retención celular muy elevados. De esta forma, el fango llega a estabilizarse aeróbicamente, debido a los prolongados períodos de aireación y el desequilibrio entre la cantidad en el tanque y la cantidad de materia orgánica que llega. Por ello, el volumen del reactor es mayor al requerido en el proceso convencional, y se diferencia fundamentalmente, del proceso de lodos activos convencional por la disminución en la cantidad de lodo residual. Una ventaja de la aireación prolongada es que las instalaciones para manipulación de lodos del proceso de aireación prolongada son muy pequeñas comparadas con las que se necesitan en el proceso de lodos activos convencional.

Además de los anteriores, existen otros tipos como son el de doble etapa, proceso Kraus, aireación graduada y utilización de oxígeno puro. La tabla siguiente describe todos los procesos anteriores.

Descripción del proceso de fangos activos y modificaciones del proceso

Proceso	Descripción
<i>Convencional</i>	El agua decantada y el fango activado reciclado entran en el tanque de aireación y se mezclan con aire disuelto o con agitadores mecánicos. El suministro de aire suele ser uniforme a lo largo de toda la longitud del canal. Durante el período de aireación, se produce la adsorción, floculación, y oxidación de la materia orgánica. Los sólidos del fango activado se separan en un decantador secundario.
<i>Reactor de mezcla completa</i>	El proceso es una aplicación del régimen de flujo de un reactor de flujo continuo agitado. El agua residual decantada y el fango activado recirculado se introducen, normalmente, en varios puntos del tanque de aireación. La carga orgánica y la demanda de oxígeno son uniformes en toda la longitud del tanque.
<i>Aireación graduada</i>	Este proceso es una modificación del proceso convencional de flujo en pistón. A lo largo de la longitud del canal, en función de la demanda de oxígeno, se aplican caudales de aireación diferentes. La mayor cantidad de oxígeno se suministra a la entrada del tanque, y las cantidades aportadas disminuyen conforme al líquido mezcla se aproxima al extremo de salida. Esta configuración se suele conseguir disponiendo diferentes separaciones entre difusores a lo largo del tanque.
<i>Aireación con alimentación escalonada</i>	La alimentación escalonada es una modificación del proceso de flujo en pistón convencional en la que el agua residual decantada se introduce en diferentes puntos del canal para conseguir un valor de la relación F/M uniforme, lo cual permite reducir la demanda de oxígeno punta. Normalmente se suelen emplear tres o más canales paralelos. Una de las ventajas importantes de este proceso es la flexibilidad de operación.
<i>Aireación modificada</i>	La aireación modificada es similar al proceso de flujo en pistón convencional, con la diferencia de que se emplean menores tiempos de detención y valores de la relación F/M más elevados. El rendimiento de eliminación de la DBO es inferior al de otros procesos de fangos activados.
<i>Contacto y estabilización</i>	El proceso de contacto y estabilización utiliza dos tanques o compartimentos separados para el tratamiento del agua residual y la estabilización del fango activado. El fango activado estabilizado se mezcla con el agua residual afluyente (bruta o decantada), en un tanque de contacto. El líquido mezcla se decanta en un decantador secundario y el fango de retorno se airea por separado en un tanque de reaireación para estabilizar la materia orgánica. Los volúmenes de aireación necesarios suelen ser un 50 por 100 inferiores a los necesarios en el proceso convencional de flujo en pistón.

Proceso	Descripción
<i>Aireación Prolongada</i>	El proceso de aireación prolongada es similar al de fangos activados convencional excepto en que funciona en la fase de respiración endógena de la curva de crecimiento, lo cual precisa una carga orgánica reducida y un largo periodo de aireación. Este proceso se emplea mucho en plantas prefabricadas para pequeñas comunidades.
<i>Aireación de alta carga</i>	El proceso de aireación de alta carga es una modificación del proceso en la que se combinan altas concentraciones de SSVLM con elevadas cargas volumétricas. Esta combinación permite una elevada relación F/M y largos tiempos de retención celular con tiempo de detención hidráulica cortos. Es muy importante que el mezclado sea adecuado.
<i>Proceso de Kraus</i>	El proceso Kraus es una modificación del proceso de aireación escalonada que se emplea para tratar aguas residuales con bajo contenido en nitrógeno. En un tanque independiente diseñado para nitrificar, se añade sobrenadante del digestor a una parte del fango de retorno como fuente de nutrientes. El líquido mezcla resultante se añade, entonces, al sistema de aireación de flujo en pistón principal.
<i>Utilización de oxígeno puro</i>	En lugar de aire, en el proceso de fangos activados se utiliza oxígeno de gran pureza. El oxígeno se distribuye mediante difusores en tanques de aireación cubiertos y se recicla. Parte del gas se purga para reducir la concentración de dióxido de carbono. También puede ser necesario realizar ajustes del pH. La cantidad de oxígeno añadida es del orden de cuatro veces superior a la cantidad que se puede añadir con los sistemas de aireación convencionales.
<i>Canal de oxidación</i>	El canal de oxidación consiste en un canal circular u ovalado equipado con dispositivos de aireación mecánica. El agua residual tamizada entra en el canal, se agita, y circula a una velocidad entre 0,24 y 0,35 m/s. Normalmente, los canales de oxidación funcionan según un esquema de aireación prolongada con largos tiempos de detención y de retención de sólidos. En la mayoría de las aplicaciones se emplean tanques de sedimentación secundaria.
<i>Reactor de flujo discontinuo secuencial</i>	El reactor de flujo discontinuo secuencial es un tipo de reactor que sigue un proceso de llenado-vaciado alternando, en el que todas las etapas del proceso de fangos activados se llevan a cabo en un reactor de mezcla completa. El líquido mezcla permanece en el interior del reactor durante todos los ciclos, lo cual permite evitar la necesidad de disponer de tanques de sedimentación secundaria.

En la siguiente tabla se muestran los parámetros de diseño para las diferentes variantes de procesos de lodos activados, y elegir, la que mejor se ajuste a nuestros datos.

Parámetros de diseño para los procesos de fangos activados

<i>Modificación de proceso</i>	Θ_c, d	<i>F/M Kg DOB₅ Aplicada/ Kg SSVLM·d</i>	<i>Carga volumica, Kg de DBO₅ Aplicada/ m³·d</i>	<i>SSLM,mg/l</i>	<i>V/Q,h</i>	<i>Q_f/Q</i>
Convencional	5-15	0,2-0,4	0,32-0,64	1.500-3.10	4-8	0,25-0,75
Mezcla completa	5-15	0,2-0,6	0,80-1,92	2.500-4.000	3-5	0,25-1,0
Alimentación escalonada	5-15	0,2-0,4	0,64-0,96	2.000-3.500	3-5 1,5-3	0,25-0,75 0,05-0,25
Aireación modificada	0,2-0,5	1,5-5,0	1,20-2,40	200-1.000	(0,5- 1,0) ^a	0,5-1,50
Contacto y estabilización	5-15	0,2-0,6	0,96-1,20	(1.000-3.000) ^a (4.000-10.000) ^b	1,0) ^a (3-6) ^b	
Aireación prolongada	20-30	0,05-0,15	0,16-0,40	3.000-6.000	18-36	0,5-1,50
Aireación de alta carga	5-10	0,4-1,5	1,60-1,60	4.000-10.0000	2-4	1,0-5,0
Proceso Kraus	5-15	0,3-0,8	0,64-1,60	2.000-3.000	4-8	0,5-1,0
Oxígeno puro	3-10	0,25-1,0	1,60-3,20	2.000-5.000	1-3	0,25-0,5
Canal de oxidación	10-30	0,05-0,30	0,08-0,48	3.000-6.000	8-36	0,75-1,50
Reactor de flujo discontinuo secuencial	N/A	0,05-0,30	0,08-0,24	1.500-5.000 ^d	12-50	NA
Reactor Deep Shaft	SI	0,5-5,0	0,08-0,32	2.000-3.500	6-15	0,50-1,50
Nitrificación de etapa única	8-20	0,10-0,25 (0,02-0,15) ^c				
Nitrificación en etapas separadas	15-100	0,05-0,20 (0,04-0,15) ^c	0,05-0,14	2.000-3.500	3-6	0,50-2,00

^a Unidad de contacto

^b Unidad de estabilización de sólidos

^c NKT/SSVLM

^d Los SSLM varían en función de la fase del ciclo operativo

NA= No aplicable

SI= Sin información

5.3. PROCESO BIOLÓGICO DE FANGOS ACTIVOS

5.3.1. Elección del tipo de reactor

El reactor cuyo flujo se aproxima al flujo en pistón (FP) suele presentar grandes ventajas sobre el de flujo continuo de tanque agitado (RFCTA). Sin embargo, en las plantas de lodos activos se suele elegir como modelo típico de reactor biológico el de tanque agitado. Las razones que sustentan esta elección son las siguientes:

- En los reactores de las plantas de lodos activos se produce una dispersión considerable, debido a la turbulencia que origina la aireación. Esto conlleva a que resulte más próximo a la realidad el modelo de mezcla compleja, donde se supone una mezcla total, donde se supone una mezcla total.

- Los cambios en la DBO_5 del efluente se amortiguan más fácilmente en un reactor de mezcla completa que en un flujo en pistón.

- En los reactores de flujo en pistón se produce un empeoramiento de las características de sedimentación de la biomasa producida en el reactor.

- Existe un mejor balance entre el suministro y el consumo de oxígeno en el caso de los RFCTA si se comparan con los reactores de FP.

Pero como se ha expuesto anteriormente, el proceso que se va a llevar a cabo en la planta de depuración que se está estudiando va a ser el de aireación prolongada.

5.3.2. Descripción del modelo matemático

Según la evaluación realizada anteriormente, deducimos que el reactor que más se adecua a nuestros parámetros de operación es el proceso de lodos activados en la variante de aireación prolongada. Por tanto, pasaremos a formular un modelo matemático que exprese el comportamiento de nuestro reactor, en este caso de mezcla completa.

Antes de realizar el estudio de los modelos matemáticos aplicables a los lodos activos se realizará una descripción de las variables del proceso.

Concentración de la DBO soluble.

Se simboliza mediante S_i en la que el subíndice i indica la corriente específica de que se trate. La DBO soluble está formada principalmente por compuestos carbonosos en disolución.

El diseño de planta de lodos activos se basa en el consumo de la DBO soluble, y es el resultado del proceso de oxidación biológica que se presenta en el reactor.

Concentración de sólidos volátiles en suspensión (VSS).

Se denotan mediante el símbolo $X_{V,i}$, en el que el subíndice V se refiere a la característica de volatilidad y el subíndice i a la corriente específica de que se trate. Los sólidos volátiles en suspensión corresponden a los lodos biológicos, constituidos por una población heterogénea de microorganismos.

Concentración de sólidos no volátiles en suspensión (NVSS).

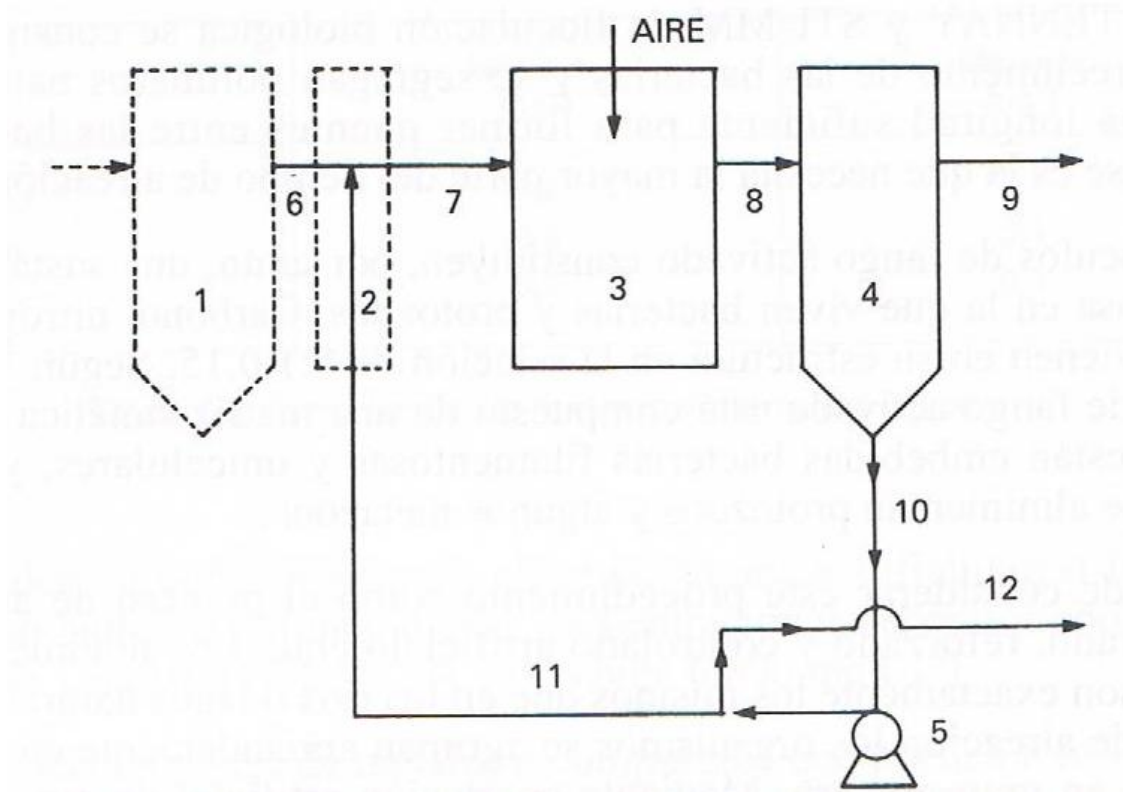
Se indican mediante el símbolo $X_{f,i}$, en el que f hace referencia a la no volatilidad de los sólidos, e i , indica la corriente específica de que se trate.

$$\mathbf{SST (Sólidos Totales) = VSS + NVSS}$$

El modelo más simple para definir el proceso debe considerar tres componentes principales: biomasa, sustrato y oxígeno disuelto.

1. Descripción del diagrama de flujo

El proceso de fangos activados en continuo, considerando la recirculación del fango, puede representarse de la siguiente forma:



Aurelio Hernández Ed.2001

Como característica fundamental del proceso, debe señalarse la necesidad de mantener la concentración de S.S en el reactor biológico, ante una constancia del sustrato de entrada, que se basa en la recirculación de lodos decantados.

En la tabla siguiente se muestra la nomenclatura empleada:

Aparatos				
1.- Decantación primaria				
2.- Mezcla de aguas decantadas y recirculadas				
3.- Reactor biológico aeróbico				
4.- Decantación secundaria				
5.- Recirculación y extracción de lodos en exceso				
Flujos y Concentraciones				
Parámetros	Caudal	Concentración Substrato	Concentración	Vol.
6.- Entrada al sistema	Q_E	S_E	X_E	
7.- Entrada Reactor Biológico	$Q = Q_E + Q_R$ $Q = Q_E (1+r)$	S_0	$X_{V,0}$ $X_{f,0}$	V_R
3. Reactor biológico	Q	S_e	$X_{V,e}$ $X_{f,e}$	
8. Salida Reactor	Q_e	S_e	$X_{V,e}$ $X_{f,e}$	
9.- Salida de agua de sistema	Q_S	S_S	$X_{V,S}$ $X_{f,S}$	
10.- Salida Fangos Decantador Secundario	$Q_R = r Q_E = Q_u$	S_R	$X_{V,u=R}$ $X_{f,u=R}$	V_d
11.- Recirculación	Q_R		$X_{V,R}$ $X_{f,R}$	
12.- A tratamiento de fangos.	Q_W		$X_{V,W=R}$ $X_{f,W=R}$	

A continuación se explicará el diagrama de flujo representado por la figura:

1._ La alimentación inicial, o bien el agua residual se introduce en el reactor con un valor de DBO soluble indicado por S_E .

El objetivo del tratamiento es reducir este valor a S_s , DBO soluble en la corriente 9, mediante oxidación por degradación biológica aerobia de la materia orgánica del agua residual.

2._ La alimentación inicial se combina con lodo reciclado de la corriente 11, y entra en el reactor como corriente 7, alimentación combinada Q.

Se suponen condiciones de operación en régimen estacionario y flujo próximo a las condiciones de mezcla completa.

El lodo biológico, ΔX_v , se forma continuamente en el reactor. La concentración de DBO soluble en el líquido del reactor se simboliza por S_e . Bajo condiciones de estado estacionario y mezcla completa la concentración de la DBO soluble en el efluente del reactor, corriente 8, es asimismo igual a S_e .

3._ El efluente del reactor se pasa al clarificador secundario. La concentración de DBO soluble es la misma en la descarga del clarificador, S_R corriente 10, y en el efluente final, S_s corriente 9, esto es, S_e .

La descarga del clarificador se divide en dos corrientes: purga, corriente 12, y lodo reciclado, S_R corriente 11. Para estas dos corrientes, la concentración de DBO soluble tiene el mismo valor, S_e .

Por tanto, $S_e = S_R = S_s$

4._ La corriente de lodo reciclado se combina con la alimentación inicial para formar la alimentación combinada Q. La concentración de DBO soluble en la corriente combinada se denota por S_o y se calcula mediante un balance de materia en el punto de conjunción de las corrientes 6, 11 y 7.

5._ *Sólidos volátiles en suspensión (MLVSS).*

En régimen estacionario, la concentración de lodo biológico en el reactor se mantiene constante en todo momento. Para el caso que nos ocupa, 4000 mg/l.

Dadas las condiciones de mezcla completa en el reactor, los sólidos en suspensión en él, corresponden a los MLVSS (sólidos volátiles en

suspensión en el licor mezclado), simbolizada por $X_{V,a}$, en la que el subíndice a se refiere al de reactor.

La concentración de VSS en la alimentación inicial ($X_{V,i}$) es despreciable en muchos casos, ya que en esta etapa no ha tenido lugar una aireación apreciable. Los VSS se producen continuamente en el efluente.

Con objeto de mantener una concentración constante de MLVSS en el reactor, la mayor parte de la descarga del clarificador se recicla a la cabeza. La relación reciclado r se calcula mediante un balance de materia que tiene en cuenta la necesidad del mantenimiento de la concentración seleccionada $X_{V,a}$ de MLVSS dentro del reactor en todo momento.

$$Q_R = r Q_E$$

Debido a la síntesis de materia biológica, hay una producción neta de MLVSS en el reactor (ΔX_v , Kg/d).

Para mantener constante la concentración de MLVSS en el reactor en todo momento, es necesario purgar del sistema una masa de MLVSS (Kg/d) igual a esta producción neta ΔX_v . Esto se lleva a cabo principalmente mediante la purga intencionada de algo de lodo, corriente 12.

6._ Algo de VSS se pierden también en el efluente final ($Q, X_{V,s}$).

En la práctica, la purga se realiza de forma intermitente, sin embargo ello conlleva condiciones de flujo no estacionario. Dado que la corriente de purga es normalmente pequeña al compararla con el reciclado, la suposición de purga continua no introduce un error apreciable en el balance de materia global. En la figura, el lodo se purga desde la corriente de reciclado, por tanto, la concentración de VSS en la corriente de purga se representa por $X_{V,W=R}$.

7._ La concentración de VSS en el efluente del reactor es $X_{V,e}$, suponiendo condiciones estacionarias y mezcla completa.

El efluente del reactor fluye al clarificador secundario. La descarga de este último, corriente 10, es un lodo que contiene una concentración de VSS

representada por $X_{V,u=R}$ ($X_{V,R} > X_{V,e}$). El valor de $X_{V,R}$ se selecciona durante el proyecto, diseñando el clarificador para cumplir el valor especificado.

Normalmente $X_{V,R}$ tiene valores comprendidos entre 10.000 y 15.000 mg/l de VSS.

Las concentraciones de VSS en la purga y el lodo reciclado son, iguales a $X_{V,R}$.

8._ En el efluente final del clarificador secundario la concentración de VSS ($X_{v,s}$) es normalmente despreciable, ya que el clarificador se proyecta para una retención de sólidos del 100%.

La concentración de VSS en la alimentación combinada $X_{v,o}$, se calcula mediante un balance de materia en el punto de mezcla de las corrientes 6, 11 y 7.

9._ *Sólidos no volátiles en suspensión (NVSS).*

La concentración de NVSS en el reactor se indica por $X_{f,a}$ y es igual a la existente en la alimentación combinada y en el efluente del reactor. Esto es así debido a que se supone mezcla completa y a que no hay producción de NVSS en el reactor.

$$\text{Por ello, } X_{f,a} = X_{f,o}.$$

La concentración de NVSS en la alimentación inicial se designa mediante X_f y la del lodo reciclado y la descarga del clarificador secundario, $X_{f,R}$.

En la alimentación combinada esta concentración viene denotada por $X_{f,o}$ y se calcula mediante un balance de materia en la intersección de las corrientes.

Los NVSS del efluente del reactor se separan, asimismo, mediante sedimentación en el clarificador secundario. La concentración de NVSS en la descarga del clarificador se indica mediante $X_{f,R}$ y la del efluente final, normalmente despreciable por, $X_{f,s}$.

10._ Lodos purgados

Suma de los VSS + NVSS.

Los kg por día de VSS se indican mediante $(VSS)_w$. Este término incluye la producción neta de VSS en el reactor (ΔX_v) más los introducidos con la alimentación inicial ($Q_E X_{v,E}$) menos los VSS, perdidos en el efluente final ($Q_s X_{v,s}$).

Los kg de NVSS en la corriente de purga, son designados por $(NVSS)_w$.

2. Relaciones cinéticas

El estudio de la cinética de tratamiento biológico aerobio conduce a determinar la velocidad a la cual los microorganismos degradan un residuo específico y, por tanto, suministran la información básica necesaria para determinar el tamaño de los reactores biológicos aerobios.

Suponiendo que la concentración de sustrato (S_e) esté por debajo de los 500 mg/l de DBO_5 , el consumo de sustrato a concentraciones bajas sigue una cinética de primer orden.

Esto significa que la velocidad de consumo es proporcional a la concentración de sustrato.

La pendiente de la curva de S en función de t (que iguala a la velocidad de consumo de sustrato dS/dt) decrece con el tiempo conforme disminuye la concentración de sustrato. Por ello, en esta región la velocidad de consumo de sustrato es directamente proporcional a su concentración (cinética de primer orden).

$$dS/dt = -KS$$

Siendo $X_{v,a}$ la concentración en MLVSS, y $K = k X_{v,a}$, obtenemos:

$$dS/dt = -KS, \text{ y } dS/dt = - k X_{v,a} \cdot S$$

considerando un tiempo de retención en un reactor en continuo, donde $S = S_e$, se tendrá:

$$q = dS/dt = - k X_{v,a} \cdot S_e$$

Estableciendo la formulación en un reactor en continuo se obtiene, llevando a cabo un balance de materia al sustrato y considerando condiciones de operación estacionarias (que el cambio de sustrato en el reactor es nulo):

$$\left(\begin{array}{l} \text{Velocidad de} \\ \text{Acumulación de} \\ \text{sustrato en el} \\ \text{reactor} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{l} \text{Velocidad de} \\ \text{entrada de sustrato} \\ \text{al reactor} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{l} \text{Velocidad de} \\ \text{salida de sustrato} \\ \text{al reactor} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{l} \text{Velocidad de} \\ \text{oxidación de} \\ \text{sustrato} \end{array} \right)$$

Se obtiene,

$$q = k \cdot S_e = \frac{S_0 - S_e}{X_{V,a}} \cdot \frac{Q}{V_0} = \frac{dS}{dt}$$

Siendo $t_h = Q/V_0$ tiempo de retención hidráulico en el reactor, nos queda:

$$q = k \cdot S_e = \frac{S_0 - S_e}{X_{V,a} \cdot t_h} = \frac{dS}{dt}$$

La velocidad específica de consumo de sustrato, q , corresponde a la velocidad de consumo de sustrato en el reactor continuo por unidad de masa de MLVSS presente en el reactor. Se puede expresar como:

$$\frac{mg/l \text{ DBO}_{consumida}}{mg \text{ MLVSS/l} \cdot dia} = \frac{mg \text{ DBO}_{consumida}/dia}{mg \text{ MLVSS} \cdot dia} = \frac{kg \text{ DBO}_{consumida}}{kg \text{ MLVSS} \cdot dia}$$

Para aplicar la ecuación deducida para la velocidad específica de consumo de sustrato es necesario decidir qué modelo cinético se va a utilizar.

3. Parámetros biocinéticos correspondientes a la producción neta de MLVSS y a la demanda de oxígeno.

- Y' es la fracción de sustrato consumido que se utiliza para la síntesis celular. Debido a la proporcionalidad entre consumo de sustrato y la DQO o DBO, Y' representa también fracciones de DQO o DBO utilizada para síntesis de nuevas células.

$$\frac{kg \text{ sustrato}_{consumidosintesis}}{kg \text{ sustrato}_{total consumido}} = \frac{kg \text{ DQO}_{consumidosintesis}}{kg \text{ DQO}_{total consumido}} = \frac{kg \text{ DBO}_{consumidosintesis}}{kg \text{ DBO}_{total consumido}}$$

Número adimensional que representa la fracción de sustrato consumido en la síntesis.

- Y hace referencia a la producción celular por unida de sustrato consumido. representa la producción de lodo biológico por kilogramo de sustrato total consumido.

Está relacionado con el anterior, $Y' = Y (150/113)$.

$$\frac{kg \text{ MLVSS}_{producidos}}{kg \text{ sustrato}_{total consumido}} = Y$$

- a es la fracción de sustrato consumido utilizado para la producción de energía mediante la oxidación de sustrato. $Y' + a = 1$.

$$\frac{kg \text{ sustrato}_{consumidomet.celular}}{kg \text{ sustrato}_{total consumido}} = \frac{kg \text{ DQO}_{consumidomet.celular}}{kg \text{ DQO}_{total consumido}} = \frac{kg \text{ DBO}_{consumidomet.celular}}{kg \text{ DBO}_{total consumido}}$$

A continuación se definen los parámetros cinéticos, k_d y b , correspondientes a la fase de respiración endógena.

La respiración endógena supone la oxidación de la materia celular con objeto de proporcionar energía para el mantenimiento de los microorganismos cuando la fuente externa de materia orgánica ha sido consumida.

- k_d coeficiente de descomposición microbiana, se define como la fracción de MLVSS por unidad de tiempo oxidada durante el proceso de respiración endógena.

Por ejemplo, un valor de $0,1 \text{ d}^{-1}$ significa que el 10% de la cantidad total de MLVSS presente en el reactor continuo, en cualquier momento, es la cantidad oxidada por día.

$$k_d = \frac{\text{kg MLVSS oxidados}}{\text{kg MLVSS en el reactor} \cdot \text{día}}$$

En consecuencia, los kilogramos de MLVSS oxidados por día son una función del coeficiente de descomposición y la cantidad de MLVSS en el reactor.

$$\frac{\text{kg MLVSS oxidados}}{\text{día}} = k_d \cdot \text{kg MLVSS en el reactor}$$

Los MLVSS presentes en el reactor en cualquier momento, suponiendo la operación en régimen estacionario, es una cantidad constante que viene dada por la expresión:

$$\text{kg MLVSS en el reactor} = K_{V,a} \cdot V_R$$

$X_{V,a}$ es la concentración de MLVSS, kg de MLVSS por unidad de volumen en el reactor y V el volumen del reactor.

$$\text{kg /día MLVSS oxidado} = K_d \cdot K_{V,a} \cdot V_R$$

- b se define como los kg. de oxígeno utilizados por día y por kg de MLVSS durante el reactor en el proceso de respiración endógena.

$$b = \frac{\text{kg Oxígeno}}{\text{Kg MLVSS}_{\text{en el reactor}} \cdot \text{día}}$$

Por tanto,

$$\text{kg /día Oxígeno} = b \cdot \text{kg MLVSS}_{\text{en el reactor}} = b \cdot K_{V,a} \cdot V_R$$

La relación aproximada entre k_d y b según bibliografía (Ramalho, 1996) se calcula empíricamente:

$$\frac{b}{K_d} = \frac{\text{kg oxígeno}}{\text{kg MLVSS oxidado}} = 1,42$$

4. Balances de materia

- **Balance de materia al oxígeno**

El oxígeno se requiere con dos fines: oxidar el sustrato con objeto de proporcionar energía a las células y para la fase de respiración endógena. Llevando a cabo un balance de materia, tal como:

$$\left(\begin{array}{l} \text{Caudal másico} \\ \text{total de oxígeno} \\ \text{necesario} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{l} \text{Caudal másico de} \\ \text{oxígeno necesario} \\ \text{para oxidar el} \\ \text{sustrato} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{l} \text{Caudal másico de} \\ \text{oxígeno para} \\ \text{respiración endógena} \end{array} \right)$$

- Caudal másico de oxígeno para oxidar el sustrato

Siendo S_r la cantidad de sustrato total consumido, nos queda la relación:

$$\frac{\text{kg Oxígeno}}{\text{día}} = a (S_0 - S_e) \cdot Q = a \cdot S_r \cdot Q$$

Utilizando esta ecuación con los valores de a de acuerdo a las unidades fundamentales, obtenemos la siguiente relación:

$$\begin{aligned} \text{Kg MLVSS/Kg DBO}_5 \cdot \text{mg DBO}_5/\text{l} \cdot \text{m}^3/\text{s} \cdot 1\text{Kg DBO}_5/10^6\text{mg DBO}_5 \cdot 10^3/\text{l} \\ 1\text{m}^3 \cdot 86400\text{s/día} = 86,4 \text{ Kg MLVSS / día} \end{aligned}$$

Se requiere por tanto, un factor de conversión del modo:

$$\frac{\text{kg Oxígeno}}{\text{día}} = 86,4 a \cdot S_r \cdot Q$$

- Caudal másico de oxígeno para respiración endógena

También se necesita un factor de conversión, ahora de 10^{-3} , para expresar el resultado.

$$\frac{\text{kg Oxígeno}}{\text{día}} = \frac{1}{1000} b \cdot X_{V,a} \cdot V_R$$

Por tanto, la cantidad de oxígeno necesaria en el proceso es la suma de las anteriores, quedándonos la expresión como:

$$\frac{\text{kg Oxígeno}}{\text{día}} = 86,4 a \cdot S_r \cdot Q + \frac{1}{1000} b \cdot X_{V,a} \cdot V_R$$

- **Balance de materia para la determinación de la producción neta de biomasa (MLVSS)**

De lo expuesto anteriormente se desprende que una fracción del sustrato consumido se utiliza en la producción de MLVSS, aunque una parte de lo producido se pierde en respiración endógena; por consiguiente:

$$\left(\begin{array}{l} \text{Caudal másico} \\ \text{de MLVSS neto} \\ \text{producido} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{l} \text{Caudal másico} \\ \text{de MLVSS producido} \\ \text{por consumo} \\ \text{de sustrato} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{l} \text{Caudal másico} \\ \text{de MLVSS consumido} \\ \text{en la respiración} \\ \text{endógena} \end{array} \right)$$

- Biomasa producida por consumo de sustrato

Viene dada por la siguiente expresión:

$$\frac{\text{kg MLVSS producidos}}{\text{dia}} = Y (S_0 - S_e) \cdot Q = Y \cdot S_r \cdot Q$$

Se necesita igualmente el factor 86,4 para el cálculo de los kg/d de MLVSS, si Y viene expresada en kg de MLVSS producidos/kg de DBO total consumida, S_r en mg/l de DBO consumida y Q_0 en m^3/s .

$$\frac{\text{kg MLVSS producidos}}{\text{dia}} = 86,4 Y \cdot S_r \cdot Q$$

- Biomasa perdida en la respiración endógena

El lodo perdido por respiración endógena se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$\text{kg /dia MLVSS oxidado} = K_d \cdot K_{V,e} \cdot V_R$$

Se requiere del factor 10^{-3} para el cálculo de los kilogramos de biomasa oxidados por día, si K_d viene expresado en kg MLVSS oxidado/(d) (kg MLVSS en el reactor).

Sustituyendo en el balance inicial resulta la producción neta de MLVSS se obtiene por diferencia entre los MLVSS producidos y la cantidad perdida por respiración endógena.

Esta producción neta en kg/día se indica mediante ΔX_v :

$$\Delta X_v = Y (S_0 - S_e) Q - K_d \cdot X_{V,e} \cdot V_R = Y \cdot S_r \cdot Q - K_d \cdot X_{V,e} \cdot V_R$$

5. Condiciones óptimas de decantación del lodo.

Para que el proceso de lodos activos funcione adecuadamente, los MLVSS del efluente del reactor deben separarse rápidamente en el clarificador secundario. La condición que se presenta a veces por la que el lodo es ligero y disperso (lodo inflado) y por ello es difícil de sedimentar se denomina “bulking”.

Las características de decantación de los lodos se evalúan mediante ensayos de sedimentación realizados en el laboratorio. Para esta evaluación se utilizan, normalmente, dos parámetros: velocidad de sedimentación por zonas (VSZ) e índice volumétrico de lodo (IVL) o índice de Molhamn.

- *Velocidad de sedimentación por zonas (VSZ).*

Un lodo fácilmente sedimentable presenta una VSZ elevada de aproximadamente 6 m/h.

- Índice volumétrico de lodo (IVL).

El índice de Mohlmann (I.M) corresponde al volumen en ml, ocupado por un gramo de materia sólida en suspensión, después de decantar durante media hora en una probeta de un litro. Intenta dar la concentración real de sólidos que hay dentro del reactor, indicando la eficacia de floculación en el reactor biológico.

La concentración de sólidos totales en suspensión en la línea de reciclado (descarga del clarificador secundario), X_R , puede estimarse suponiendo que no hay sólidos en suspensión perdidos en el rebosadero del clarificador y que la concentración de lodos es equivalente a la que se alcanza después de 30 minutos de decantación en la probeta del laboratorio. De esta forma:

$$X_R = 1 / IVL = 10^6 / IVL \text{ (mg/l)}$$

Para estimar la concentración de sólidos volátiles en suspensión para la línea de reciclado, $X_{V,R}$, se modifica la ecuación anterior:

$$X_{V,R} = \frac{MLVSS}{MLSS} \cdot \frac{1}{IVL} \cdot 10^6 \text{ (mg/l)}$$

La relación (MLVSS/MLSS) de sólidos volátiles a sólidos totales en las plantas de lodos activos está comprendida dentro el intervalo 0,8 a 0,9 según la bibliografía (Ramalho, 1996).

La utilización de IVL para medir las características de la decantación de los lodos es cuestionable, ya que este índice mide solamente un punto de la curva de decantación.

Varios autores han correlacionado las características de decantación del lodo, con un parámetro denominado relación alimento a microorganismo (A/M).

Este parámetro se define mediante la ecuación:

$$A/M = \text{kg de sustrato en el afluente} / \text{kg MLVSS reactor} \cdot \text{día}$$

$$A = (Q S_0) \cdot 86,4$$

$$M = (X_{V,a} V) \cdot 10^{-3}$$

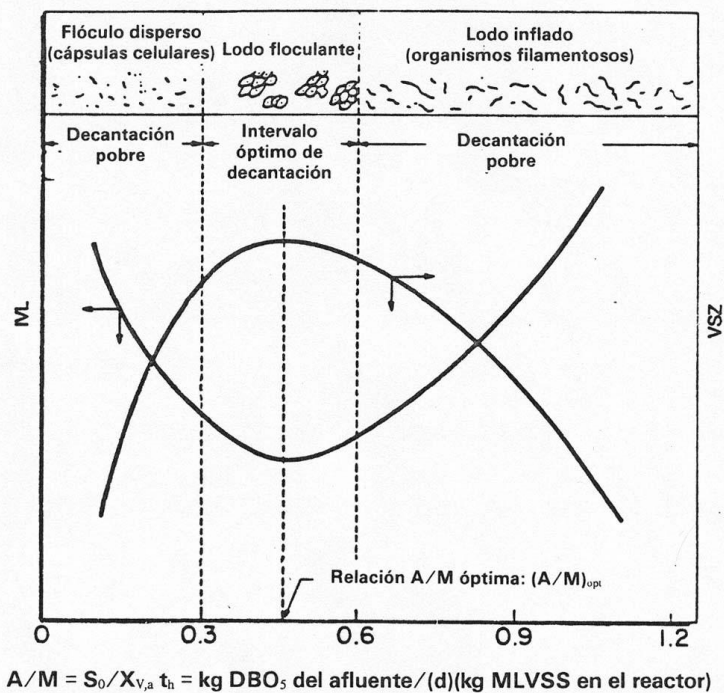
Por tanto, sustituyendo se obtiene, siendo Q/V_R el tiempo de residencia hidráulico:

$$\frac{A}{M} = \frac{(Q S_0)}{X_{V,e} V_R} = \frac{S_0}{X_{V,e} t_h}$$

Con objeto de conseguir correlaciones de las características de sedimentación de un lodo, se trabaja con una serie de reactores en continuo teniendo en cada uno de ellos una relación diferente de A/M .

El lodo obtenido en cada reactor se somete a pruebas de decantación (VSZ e IVL). Si estos dos parámetros, que son una medida de la capacidad del lodo para decantar, se representan en función de las relaciones A/M correspondientes, se obtienen curvas similares a la figura.

Correlación típica entre IVL y VSZ con la relación A/M



Ramalho Ed.1996

Para que un lodo tenga unas condiciones de sedimentación óptimas debe presentar una VSZ elevada y un IVL bajo, la mejor relación A/M, corresponde al máximo de la curva VSZ y al mínimo de la curva IVL.

En la mayoría de las aguas residuales este valor óptimo de la relación A/M se encuentra comprendido dentro de los siguientes límites:

$$0,6 > A/M > 0,3$$

expresada en kg DBO₅ afluente/ kg MLVSS.día

- **Relación A/M baja (< 0,3 d⁻¹)**

La cantidad de sustrato es insuficiente para mantener el crecimiento de microorganismos, por lo que se ven obligados a vivir bajo condiciones de respiración endógena, metabolizando la parte principal de la célula. El residuo que queda del metabolismo está constituido principalmente por cápsulas celulares muy ligeras que resisten la sedimentación. Esta es la razón por la cual para valores bajos de la relación A/M el lodo tiene unas características muy pobres para su decantación, dando lugar a flóculos dispersos.

- **Relación A/M baja (>0,6 d⁻¹)**

Los microorganismos predominantes son de naturaleza filamentosa, que no decantan bien, permaneciendo en suspensión casi continuamente. El lodo inflado bajo estas condiciones es el que se denomina "bulking".

En el caso de aireación prolongada, la relación está comprendida entre 0,05 y 0,15, estando entre los límites anteriores, lo que supone un lodo con buenas características de sedimentación.

5.3.3. Procedimiento de diseño para las plantas de lodos activos

A) Parámetros de diseño:

Los principales parámetros de diseño pueden agruparse en:

Carga máxima

Es la relación de kg. de DBO₅ introducidos por día en una balsa de activación, a kg de fango contenidos en dicha balsa o reactor biológico.

$$C_m = \frac{\text{kg de DBO}_5 / \text{día}}{\text{kg de fango}}$$

Representa la relación existente entre la cantidad de alimento y el contenido de microorganismos.

Carga volúmica

Indica los kg de DBO₅ introducidos por día y por m³ de balsa de activación

$$C_v = \frac{\text{kg de DBO}_5 / \text{día}}{\text{m}^3 \text{ de balsa}}$$

Representan los kg por día de DBO₅ que pueden ser tratados dependiendo del volumen del reactor.

1. Concentración de fangos activados (M.L.V.S.S) en el reactor

Una variable fundamental seleccionada por el diseñador es la concentración de MLVSS, $X_{V,a}$ en el reactor. Para trabajar con la concentración elegida tiene que calcularse el caudal de reciclado de lodo necesario.

2. Concentración de fangos activados (M.L.V.S.S) en el reciclado

Otra variable fundamental que elige el proyectista es la concentración de MLVSS en el lodo reciclado ($X_{V,R}$) que es asimismo igual a la concentración de MLVSS en la descarga del clarificador secundario y en la corriente de purga.

Para alcanzar una sedimentación adecuada del lodo $X_{V,R}$ debe estar comprendida entre valores de 10.000 y 15.000 mg/l de MLVSS según la bibliografía, (Ramalho, 1996).

B) Ecuaciones de diseño en función de las variables de la alimentación inicial.

1. Determinación de Q_0

En el punto de mezcla de cumple que:

$$Q_E + Q_R = Q$$

La relación entre los caudales Q y Q_E viene dada por:

$$Q = Q_E (1 + r), \text{ ya que } Q_R = r Q_E$$

2. Balance de materia para S_0

La DBO de la alimentación combinada, S_0 , se calcula mediante un balance de DBO en el punto de mezcla de la alimentación inicial y el lodo recirculado, para formar la alimentación combinada:

En condiciones de estado estacionario se tendría que:

$$DBO_{\text{entrada}} = DBO_{\text{salida}}$$

$$Q_E \cdot S_E + Q_R \cdot S_{R=e} = Q \cdot S_0$$

$$Q_E \cdot S_E + r \cdot Q_E \cdot S_e = Q_E (1 + r) S_0$$

Siendo por tanto,

$$S_0 = \frac{(S_E + r \cdot S_e)}{1 + r}$$

Operando, se obtiene que el consumo de DBO en el reactor es:

$$S_0 - S_e = \frac{(S_E - S_e)}{1 + r}$$

3. Balance de materia para $X_{V,0}$ y $X_{f,0}$

La concentración de sólidos volátiles en la alimentación combinada, $X_{V,0}$, se establece también mediante un balance de materia en el punto de mezcla.

$$Q_E \cdot X_{V,E} + Q_R \cdot X_{V,R} = Q \cdot X_{V,0}$$

Operando, se obtiene que la concentración es:

$$X_{V,0} = \frac{(X_{V,E} + r \cdot X_{V,R})}{1 + r}$$

Operando de igual modo, se obtiene que la concentración de sólidos no volátiles es:

$$X_{f,0} = \frac{(X_{f,E} + r \cdot X_{f,R})}{1 + r}$$

4. Ecuaciones de diseño de las relaciones cinéticas

A partir de la ecuación desarrollada por la velocidad específica de consumo de sustrato, y considerando la definición del tiempo hidráulico de residencia en el reactor, así como las ecuaciones previamente obtenidas, se obtiene la relación:

$$q = \frac{S_0 - S_e}{X_{V,e} \cdot t_h} = \frac{(S_E - S_e)/(1+r)}{\frac{V}{Q} \cdot X_{V,e}} = \frac{(S_E - S_e)/(1+r)}{\frac{V \cdot X_{V,e}}{Q_E(1+r)}} = \frac{(S_E - S_e)}{\frac{V \cdot X_{V,e}}{Q_E}}$$

El término V/Q_E en el denominador de esta ecuación es un tiempo de residencia ficticio para el reactor basado exclusivamente en la alimentación inicial Q_F , que a partir de aquí se indicará por t .

Por lo tanto, la ecuación de diseño para la relación cinética de primer orden se convierte en:

$$q = k \cdot S_e = \frac{S_E - S_e}{X_{V,e} \cdot t} = \frac{dS}{dt}$$

en la que $k = K/X_{V,e}$

5. Ecuaciones de diseño para la producción neta de biomasa

A partir de la ecuación desarrollada para la producción neta de biomasa ΔX_V (kg MLVSS/d) y sustituyendo las expresiones para $(S_E - S_e)$ y Q , se obtiene la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} \Delta X_V &= Y (S_0 - S_e) Q - K_d \cdot X_{V,e} \cdot V_R = Y \cdot \frac{S_E - S_e}{(1+r)} \cdot [Q_E(1+r)] - K_d \cdot X_{V,e} \cdot V_R = \\ &= Y (S_E - S_e) \cdot Q_E - K_d \cdot X_{V,e} \cdot V_R \end{aligned}$$

La alimentación combinada debe imaginarse como dos corrientes hipotéticas separadas:

- Para la corriente Q_E , la DBO soluble se reduce desde S_E a S_e , sintetizándose un lodo biológico como resultado de esta reducción de DBO en la cantidad $Y(S_E - S_e) Q$.

- La otra corriente Q_R , entra y abandona el reactor con la misma concentración de DBO soluble sin alterarse, esto es, S_e . Por lo tanto, no contribuye a la síntesis de lodo biológico.

El tiempo de residencia que aparece en la ecuación (14), se refiere exclusivamente a la corriente hipotética Q_E . De la definición de tiempo de residencia hidráulico, t_h , de la ecuación (13) y de la de Q según la ecuación (1) se deduce que:

$$t_h = \frac{t}{(1+r)}$$

En los procesos típicos convencionales de lodos activos, el tiempo de residencia t , se encuentra comprendido en el intervalo 4 a 8 h. Para el caso de lodos activos por aireación prolongada

Debido a que el tiempo de residencia hidráulico (t_h) depende de la relación de reciclado, es mucho más adecuado caracterizar un producto aerobio dado, que se lleva a cabo en un reactor continuo con reciclado, en función del tiempo de residencia t , basándose exclusivamente en la alimentación inicial Q_E . Por ello, y a efectos de diseño, puede utilizarse exclusivamente el tiempo t .

6. Ecuación de diseño de la utilización de oxígeno

Operando con la expresión obtenido de igual modo, se obtiene la siguiente expresión:

$$\frac{\text{kg Oxígeno}}{\text{día}} = 86,4 a (S_0 - S_e) \cdot Q_E + \frac{1}{1000} b \cdot X_{V,e} \cdot V_R$$

El significado del término $a (S_0 - S_e) Q_E$ es análogo al anterior, sólo la corriente Q_E consume oxígeno, ya que la corriente Q_R entra y sale del reactor sin modificarse.

7. Ecuación de diseño de la relación A/M

La cantidad real de sustrato suministrada como alimento a los microorganismos es $Q_E S_E$, ya que la corriente Q_R entra y abandona el reactor sin modificación alguna.

Por lo tanto, la ecuación nos queda:

$$\frac{A}{M} = \frac{Q S_0}{X_{V,e} V_R} = \frac{Q_E S_E}{X_{V,e} V_R} = \frac{S_E}{X_{V,e} t}$$

en función del tiempo de residencia t , basado exclusivamente en la corriente de alimentación inicial Q_E .

En consecuencia, las ecuaciones definidas anteriormente serán de la forma:

$$t_h = \frac{S_E}{X_{V,e} \left(\frac{A}{M} \right)_{optima}} \quad \dot{\alpha} \left(\frac{A}{M} \right)_{optima} = \frac{S_E}{X_{V,e} t}$$

8. Producción total de lodos

La corriente de purga (corriente 6) contiene sólidos en suspensión volátiles y no volátiles. Puede obtenerse una expresión de los lodos totales en la corriente de purga estableciendo un balance global de sólidos en suspensión de toda la planta. Se escriben balances globales separados para los sólidos volátiles y no volátiles.

- a) Balance de materia de sólidos en suspensión volátiles.

Se suponen las siguientes condiciones para escribir este balance:

- Se selecciona una concentración en equilibrio de MLVSS en el reactor ($X_{V,e}$).

- Para el caso de plantas de lodos convencionales de lodos activos se supone para el proceso de aireación prolongada un valor entre 3.000-6.000 mg/l según cuadro.
- La producción de biomasa por síntesis en el reactor viene dada por $Y(S_E - S_e) Q_E$
- La biomasa perdida por respiración endógena viene dada por $K_d X_{V,a} V_R$
- La alimentación inicial contiene una concentración de VSS indicada por $X_{V,E}$. Esta aportación de VSS al sistema con la alimentación inicial es despreciable, ya que normalmente no hay aireación apreciable aguas arriba del reactor y en consecuencia, poca oportunidad para la formación de biomasa.
- La biomasa purgada viene dada por $Q_W X_{V,R}$.
- Parte de los VSS se pierden en el rebosadero del clarificador secundario. En los clarificadores diseñados adecuadamente esta cantidad ($Q_S X_{V,S}$) debe ser muy pequeña, $X_{V,S} \sim 0$.

$$\left(\begin{array}{l} \text{MLVSS que} \\ \text{entran} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{l} \text{Alimentación} \\ \text{inicial :} \\ Q_E X_{V,E} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{l} \text{Por Síntesis} \\ Y(S_E - S_e) Q_E \end{array} \right)$$

$$\left(\begin{array}{l} \text{MLVSS que} \\ \text{salen} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{l} \text{Corriente de} \\ \text{purga (VSS) } \\ = Q_W X_{V,R} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{l} \text{Rebosadero} \\ \text{Clarificador :} \\ Q_S X_{V,S} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{l} \text{Perdidos} \\ \text{R.Endógena :} \\ K_d X_{V,a} V_R \end{array} \right)$$

En estado estacionario, nos queda la expresión:

$$\left(\begin{array}{l} \text{MLVSS que} \\ \text{salen} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{l} \text{MLVSS que} \\ \text{entran} \end{array} \right)$$

$$(VSS)_w = Q_E X_{V,E} + Y(S_E - S_e) Q_E - Q_S X_{V,S} - K_d X_{V,a} V_R$$

Como, $\Delta X_v = Y(S_E - S_e) \cdot Q_E - K_d \cdot X_{v,e} \cdot V_R$, sustituyendo obtenemos:

$$(\text{NVSS})_w = Q_E X_{v,E} + \Delta X_v - Q_S X_{v,S}$$

b) Balance de materia de sólidos en suspensión No volátiles.

$$\left(\begin{array}{l} \text{MLNVSS que} \\ \text{entran} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{l} \text{Alimentación} \\ \text{inicial :} \\ Q_E X_{f,E} \end{array} \right)$$

$$\left(\begin{array}{l} \text{MLNVSS que} \\ \text{salen} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{l} \text{Corriente de} \\ \text{purga (NVSS) }_w \\ = Q_W X_{f,R} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{l} \text{Rebosadero} \\ \text{Clarificador :} \\ Q_S X_{f,S} \end{array} \right)$$

En estado estacionario, nos queda la expresión:

$$\left(\begin{array}{l} \text{MLNVSS que} \\ \text{salen} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{l} \text{MLNVSS que} \\ \text{entran} \end{array} \right)$$

$$(\text{NVSS})_w = Q_E X_{f,E} - Q_S X_{f,S}$$

Del balance global de agua residual deducido anteriormente, se obtiene:

$$Q_E = Q_S + Q_W$$

se despeja Q_S y se sustituye en la ecuación, quedando:

$$(\text{NVSS})_w = Q_E (X_{f,E} - X_{f,S}) + Q_W X_{f,S}$$

Por tanto, la producción total de lodos corresponde a la suma de ambos términos.

9. Balance de materia para la determinación de la relación de reciclado

Puede obtenerse una expresión de la relación de reciclado ($r = Q_R/Q_E$) estableciendo un balance de materia de los MLVSS alrededor del clarificador secundario.

$$\left(\begin{array}{l} \text{MLVSS que} \\ \text{entran} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{l} \text{Efluente del} \\ \text{Reactor :} \\ Q_E X_{V,E} + \Delta X_V - Q_S X_{V,S} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{l} \text{Lodo} \\ \text{Reciclado :} \\ r Q_E X_{V,R} \end{array} \right)$$

$$\left(\begin{array}{l} \text{MLVSS que} \\ \text{salen} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{l} \text{Efluente del} \\ \text{Clarificador :} \\ Q_S X_{V,S} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{l} \text{Corriente de} \\ \text{Purga :} \\ Q_E X_{f,E} - Q_S X_{f,S} \end{array} \right)$$

En condiciones estacionarias,

$$\left(\begin{array}{l} \text{MLVSS que} \\ \text{salen} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{l} \text{MLVSS que} \\ \text{entran} \end{array} \right)$$

$$Q_E (r + 1) X_{V,e} = Q_S X_{V,S} + \Delta X_V + Q_E X_{V,E} - Q_S X_{V,S} + r Q_E X_{V,R}$$

Simplificando y despejando r , se obtiene:

$$r = \frac{Q_E X_{V,e} - \Delta X_V - Q_E X_{V,E}}{Q_E (X_{V,R} - X_{V,e})}$$

Normalmente, los términos ΔX_V y $Q_E X_{V,E}$ en el numerador de esta ecuación son pequeños al compararlos con el término $Q_E X_{V,e}$.

Despreciando estos dos términos, se obtiene una ecuación aproximada de la relación de reciclado r :

$$r = \frac{X_{V,e}}{(X_{V,R} - X_{V,e})}$$

Debido a que $X_{V,e}$ y $X_{V,R}$ son variables fundamentales seleccionadas por el diseñador, la ecuación permite una estimación aproximada de la relación de reciclado en las primeras etapas del proceso de diseño.

Puede entonces, utilizarse la ecuación para obtener una aproximación de S_o .

10. Expresiones que definen el caudal de purga Q_w y el rebosamiento del clarificador Q_s .

Sustituyendo Q_s en la ecuación 1 por el valor dado resultante de despejar en la ecuación 2:

$$VSS) \quad w = Q_E X_{V,E} + \Delta X_v - Q_s X_{V,S} \quad (1)$$

$$Q_E = Q_s + Q_w \quad (2)$$

despejando se obtiene:

$$Q_w = \frac{Q_E X_{V,E} + \Delta X_v - Q_E X_{V,S}}{X_{V,R} - X_{V,S}}$$

Podemos ver que es igual al valor de Q_E .

F) Estimación del volumen del reactor

Se determinará el volumen mínimo necesario según MLSS, tiempo de retención, carga másica y carga volúmica y se adoptará el valor más desfavorable.

- Según MLSS.

El número de microorganismos en el reactor viene dado por la expresión:

$$X = [\theta_c \cdot Y \cdot (S_0 - S_e)] / [(1 + K_d \cdot \theta_c) t_R]$$

Sustituyendo el tiempo de retención hidráulico t_R por V_R / Q , se obtiene:

$$V_R = [Q \cdot \theta_c \cdot Y \cdot (S_0 - S_e)] / [X \cdot (1 + K_d \cdot \theta_c)]$$

- *Según la carga másica.*

La carga másica se define como la carga diaria de materia orgánica contaminante del agua residual (expresada como Kg de DBO₅) por unidad de masa de sólidos suspendidos totales en el reactor biológico.

En procesos de aireación prolongada debe tenerse en cuenta que C_m tiene que ser menor de 0,15 (Hernández Lehmann, 1997).

Por lo que se tiene lo siguiente:

$$C_m = (S_0 \cdot Q_E) / (X \cdot V_R)$$

siendo:

S_0 = Concentración DBO₅ de entrada al reactor biológico (Kg/m³ ó g/m³)

Q_E = Caudal medio (m³/día)

$X_{V,e}$ = Concentración de sólidos totales suspendidos en el reactor o MLSS (Kg/m³ ó g/m³)

V_R = Volumen del reactor (m³)

- *Según la carga volúmica*

La carga volúmica se define como la carga orgánica contaminante por día en el agua residual (expresada como Kg de DBO₅/ día referida al volumen del reactor biológico).

En procesos de aireación prolongada debe tenerse en cuenta que C_V tiene que ser menor de 0,3. Por lo que se tiene lo siguiente:

$$C_V = (S_0 \cdot Q_E) / V_R$$

Teniendo S_0 , Q y V_R el mismo significado que el anterior apartado. Como puede deducirse fácilmente, la relación entre la carga volúmica y la carga másica es:

$$C_m = C_v / X_{v,e}$$

Por lo tanto el volumen del reactor deberá ser mayor que el mayor de los valores obtenidos según MLSS, según carga másica y según carga volúmica. Por lo que se adoptará una cuba con dimensiones que cumplan el volumen escogido.

Se deben efectuar las siguientes comprobaciones:

- Edad del fango:

Con el nuevo volumen adoptado se calcula nuevamente la edad del fango:

$$1 / \theta_c = [Y \cdot Q \cdot (S_0 - S_e)] / [(V_R \cdot X_{v,e})] - K_d$$

- Comprobación de la carga másica
- Comprobación de la carga volúmica:

Si después de realizar estas comprobaciones se obtienen valores aceptables dentro de los límites, el volumen seleccionado se considerará válido.

G) Consumo de nutrientes

La degradación biológica aerobia de las aguas residuales necesita una cierta cantidad de distintos nutrientes como magnesio, fósforo, calcio, nitrógeno y vitaminas. La mayor parte de estos nutrientes se encuentra ya presente en las aguas residuales, pero en muchas de estas aguas existen deficiencias de nitrógeno y fósforo. Para minimizar este déficit se le añaden

al reactor biológico una cantidad calculada de compuestos que contengan estos elementos.

Para estimar las necesidades de nitrógeno y fósforo se suele tomar como punto de los MLVSS purgados que contienen alrededor del 2% de su peso seco en fósforo y el 12% de nitrógeno (Ramalho, 1996). Así, para estimar las necesidades de N y P se deben tener en cuenta los siguientes puntos:

- Se perderán por la purga de los MLVSS:

$$N: 0,12 \cdot \Delta X_V \text{ (Kg / día)}$$

$$P: 0,02 \cdot \Delta X_V \text{ (Kg / día)}$$

- Según la bibliografía (Ramalho, 1996), se estima que en el efluente existirán unas concentraciones de P y N de 1 y 0,5 mg/l, respectivamente. Esto lleva a estimar que las cantidades de N y P perdidas en el efluente serán:

$$N: 86,4 \cdot Q_E \cdot (1) \text{ (Kg / día)}$$

$$P: 86,4 \cdot Q_E \cdot (0,5) \text{ (Kg / día)}$$

Por lo que las necesidades totales de P y N se obtendrán como suma de estas expresiones:

$$N: (0,12 \cdot \Delta X_V) + (86,4 \cdot Q_E \cdot 1) \text{ (Kg / día)}$$

$$P: (0,02 \cdot \Delta X_V) + (86,4 \cdot Q_E \cdot 0,5) \text{ (Kg / día)}$$

Pero también conviene conocer la cantidad total de N y P disponible en la alimentación inicial.

$$N \text{ disponible: } 86,4 \cdot Q_E \text{ [NKT]} \text{ (Kg / día)}$$

$$P \text{ disponible: } 86,4 \cdot Q_E \text{ (Kg / día)}$$

[NKT] se refiere a la concentración de nitrógeno total Kjeldahl en la alimentación inicial.

Si N y P disponibles son mayores que las requeridas, entonces no se necesitará adición. Si no se cumpliera esto deberá adicionarse una cantidad calculada en el reactor de P y N en forma de NH_3 acuoso y PO_4H_3 o PO_4NH_3 .

H) Balance de materia a los sólidos no volátiles en suspensión

Si se define F_V como la fracción de los sólidos en suspensión en el reactor y efluente, se tendría lo siguiente:

$$F_V = X_{V,e} / (X_{V,e} + X_{f,a})$$

Si se atiende a la bibliografía (Ramalho, 1996), se suele estimar un valor de F_V comprendido entre 0,8 y 0,9. De forma que $0,8 < F_V < 0,9$

Por otra parte, en el caso de este proyecto, se ha estimado un valor de $X_{V,e}$ de 4000 mg/l (Ramalho, 1996), mientras que $X_{f,e}$ se calculará a partir de la expresión siguiente:

$$X_{f,e} = [(1 - F_V) \cdot X_{V,e}] / F_V$$

Y dado que $X_{f,o} = X_{f,e}$, se podrá calcular el valor de $X_{f,u}$ con un simple balance de materia a los sólidos alrededor del decantador secundario:

$$Q_o X_{f,e} = Q_e X_{f,S} + Q_u X_{f,u}$$

Se obtendrá:

$$X_{f,u} = [Q_E (1 + r) X_{f,e} - (Q_S X_{f,s})] / Q_u$$

Si se considera que $X_{f,s}$ es aproximadamente cero, se obtiene que:

$$X_{f,u} = [Q_E (1 + r) X_{f,e}] / Q_u$$

Por último, se deduce la expresión de $X_{f,E}$ aplicando un balance de materia a los NVSS en el punto de unión de la alimentación y el reciclado:

$$Q_E X_{f,E} + Q_R X_{f,u} = Q X_{f,o} = Q X_{f,e}$$

Y sustituyendo Q y Q_R en la ecuación, resulta lo siguiente:

$$X_{f,E} = (1 + r) X_{f,e} - r X_{f,u}$$

l) **DBO₅ total en el efluente**

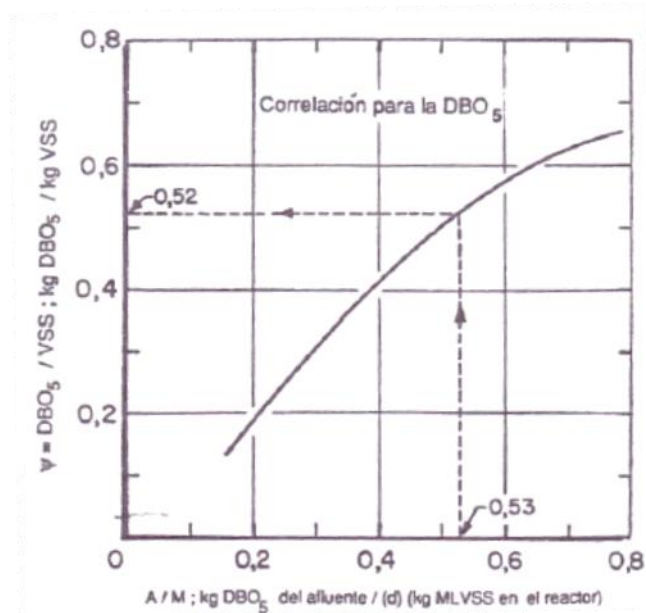
Hasta este momento sólo se ha tenido en cuenta S_s , esto es, la DBO₅ soluble en el efluente, pero también hay que considerar la DBO₅ correspondiente a los sólidos volátiles en suspensión en el efluente final. Este valor suele despreciarse, ya que, en general, la concentración de los VSS en el efluente final es muy pequeña, debido a que el decantador secundario se dimensiona para capturar el 100 % de los sólidos; pero a veces hay que tener en cuenta una contribución de DBO₅ debida a los sólidos volátiles en suspensión. En el caso de lodos activos este valor puede estimarse a partir de la relación A / M .

El término A / M se define como la relación alimento a microorganismo y se define como Kg de sustrato en el efluente / (día) (Kg MLVSS en el reactor).

Pero además, para calcular la DBO_5 total en el efluente se utiliza la ecuación:

$$DBO_{5total} = S_s + \varphi X_{v,S}$$

Correlación A/M frente φ



Ramalho Ed.1996

El procedimiento para calcular DBO_{5total} en el efluente se realiza haciendo uso de la figura anterior:

A partir del valor de A / M, se obtiene φ a partir de la figura.

Se sustituye en la ecuación y se obtiene el valor de DBO_5 total en el efluente.

J) Aireación prolongada

El proceso de la Aireación Prolongada surge como una modificación del de lodos activos. El motivo por el cual lo mejora se debe a que se disminuye la cantidad de lodo residual, ya que aumenta el tiempo de residencia. Como consecuencia, el volumen de reactor, en el caso de la aireación prolongada, es mayor que el requerido en el caso del proceso de

lodos activos. Utilizando la ecuación y considerando que la producción neta de lodo se aproxima a cero ($\Delta X_V \approx 0$), se llega a la ecuación:

$$Y (S_E - S_S) Q_E - K_d X_{V,e} V_R = 0$$

Y dado que $t = V / Q_F$, utilizando la ecuación se llega a:

$$t = Y (S_E - S_S) / K_d X_{V,e} = Y S_r / K_d X_{V,e}$$

siendo, $S_r = S_E - S_S$

El proceso de aireación prolongada se aplica en casos en los que el volumen diario es pequeño.

Para el diseño de los procesos de aireación prolongada se siguen los siguientes criterios.

Por un lado, la velocidad de oxidación del lodo controla el volumen del reactor. La ecuación va a ser la base del diseño de este proceso. Los datos experimentales indican que aproximadamente el 77% del lodo producido es biodegradable y que el 23 % restante está formado por membranas celulares no biodegradables, por lo que el primer miembro de la ecuación se ve modificado:

$$Y_o S_r Q_E = \varphi Y S_r Q_E$$

Y_o = Kg de MLVSS biodegradables producidos / Kg de DBO₅ total consumida.

Y = Kg de DBO₅ total consumida.

φ = MLVSS biodegradable producido / Kg de MLVSS producidos.

Y = Cantidad total de MLVSS producida / Kg de DBO_5 total consumida.

Por otro lado, la concentración de MLVSS se refiere exclusivamente a lodo biodegradable, por lo que $X_{V,e}$ se sustituye por $\phi X_{V,e}$.

A partir de la ecuación:

$$\Delta_{XV} = Y S_r Q - K_d X_{V,e} V_R ,$$

K_d se refiere a la fracción total de MLVSS oxidada en un día.

$K_{d,o}$: (Kg MLVSS oxidado/(día))(Kg MLVSS total en el reactor): corresponde a la cantidad de lodo biodegradable.

Esta ecuación se obtiene sustituyendo en la ecuación K_d y $X_{V,e}$ por $K_{d,o}$ y $\phi X_{V,e}$.

$$K_{d,o} \phi X_{V,e} V = (K_d / \phi) (\phi X_{V,e}) V = K_d X_{V,e} V_R$$

Igualando la ecuación se obtiene:

$$\phi Y S_r Q_F = Y_o S_r Q_F = K_d X_{V,e} V_R$$

Por lo tanto, el tiempo de residencia se obtiene de la siguiente manera:

$$t = V_R / Q_E = Y_o S_r / K_d X_{V,e} = (\phi Y S_r) / (K_d X_{V,e} V_R)$$

$$t = \phi Y (S_E - S_S) / K_d X_{V,e}$$

Siendo $\phi = 0,77$ (Hernández Lehmann, 1997).

Otro factor importante a tener en cuenta es la razón de recirculación.

En este caso tan sólo habrá que aproximar el término $X_{V,E}$ de la ecuación a cero.

$$r = [Q_E X_{V,e} - \Delta X_V] / [Q_E (X_{V,u} - X_{V,e})]$$

Ya se ha expuesto anteriormente que en el caso de la aireación prolongada la purga es un 23% del lodo que se forma. De esta manera, si $X_{V,E}$ es aproximadamente cero, se tendrá lo siguiente:

$$\Delta X_V = (1 - \phi)Y (S_E - S_S) Q_F - Q_S X_{V,S}$$

$$\text{Dónde: } (1 - \phi) = 1 - 0,77 = 0,23.$$

Por último, se obtendrá la ecuación definitiva que define r despreciando la biomasa perdida en el efluente. Se considera $Q_S X_{V,S} \sim 0$ en la anterior ecuación y se obtiene:

$$r = [X_{V,e} - (1 - \phi) Y (S_E - S_S)] / [(X_{V,u} - X_{V,e})]$$

K) Edad de fangos

La edad de fangos se designa como θ_c y se refiere a la relación entre la masa de fangos presentes en el reactor biológico y la masa de los extraídos diariamente del sistema biológico.

$$\theta_c = V_R X / [Q_w X_w + Q_S X_S]$$

Aplicando un balance de masa para los microorganismos en el sistema:

$$\begin{pmatrix} \text{Velocidad de} \\ \text{Acumulación de} \\ \text{microorganismos} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{Velocidad de} \\ \text{entrada} \\ \text{al reactor} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \text{Velocidad de} \\ \text{salida de} \\ \text{al reactor} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \text{Velocidad de} \\ \text{crecimiento} \\ \text{neto} \end{pmatrix}$$

Si se considera que el sistema opera en condiciones estacionarias, la acumulación se anula. Por otra parte, si se supone que $X_0 = 0$, también se anula el primer término. Por lo tanto, quedaría:

$$Q_w X_w + Q_s X_s = V_r r'_g,$$

Siendo r'_g la tasa de crecimiento neta, que se define como:

$$r'_g = -Y (\Delta S / \Delta t) - K_d \Delta X$$

Por tanto:

$$[Q_w X_w + Q_s X_s] / V_R X = (-Y / X) (\Delta S / \Delta t) - K_d$$

Combinando la ecuación y se obtiene lo siguiente:

$$1 / \theta_c = [Y (S_E - S_S) / t_r X] - K_d$$

Y dado que $t_r = V_R / Q$:

$$1 / \theta_c = [Y Q (S_E - S_S) / (V_R X)] - K_d$$

5.3.4 Decantador secundario y línea de fango.

El decantador secundario tiene un doble objetivo. Por un lado, separar los sólidos en suspensión del agua clarificada y por otro, espesar el fango de retorno.

Es muy importante seleccionar la profundidad adecuada del decantador secundario, porque ésta afecta directamente a los objetivos anteriormente nombrados.

El tipo de sedimentación es la correspondiente a la sedimentación de partículas floculadas y en floculación. Se dan dos procesos:

- Sedimentación por zonas, cuando la concentración de partículas en el líquido es relativamente elevada. Tiene lugar en las zonas inferiores de los decantadores.
- Sedimentación por compresión, cuando las partículas se encuentran en contacto físico unas con otras. Tiene lugar en la poceta inferior de concentración de fangos.

Para la sedimentación y separación de los flóculos formados tras la cuba de aireación se utilizará un decantador secundario. Los lodos producidos en este proceso se unirán a los procedentes de la cuba para su digestión.

Para el dimensionado del decantador, el parámetro de diseño principal es la velocidad ascensional, junto con el tiempo de retención y la carga en el vertedero. Normalmente, el diseño de decantadores en un proceso de aireación prolongada consta de distintos parámetros.

Para determinarlos, se utilizarán los datos reflejados en la tabla siguiente:

Parámetro	Q MEDIO	Q MÁXIMO
Carga sobre vertedero	$\leq 4 \text{ m}^3 / \text{h m}$	$\leq 9 \text{ m}^3 / \text{h m}$
Carga de sólidos	$\leq 4,2 \text{ kg} / \text{h m}^2$	$\leq 7 \text{ kg} / \text{h m}^2$
Tiempo de retención	$\geq 3,6 \text{ h}$	$\geq 1,7 \text{ h}$
Velocidad ascensional	$\leq 0,7 \text{ m} / \text{h}$	$\leq 1,5 \text{ m} / \text{h}$

Línea de fangos

Una vez que los fangos pasen por la decantación secundaria, se tendrán dos corrientes de salida procedentes del mismo. Una de estas corrientes será de agua clarificada, mientras que la otra serán los fangos.

El agua clarificada se somete posteriormente a un tratamiento terciario mediante filtro y desinfección ultravioleta.

La fracción recirculada de los fangos se introduce en el reactor biológico nuevamente, y la fracción de fangos purgados se someterá a un proceso de deshidratación mecánica, para su posterior traslado a la depuradora municipal.

5.4. TRATAMIENTO TERCIARIO

Actualmente, para la reutilización urbana, donde la exposición pública es probable, se requiere el uso de un efluente bien oxidado, filtrado y desinfectado.

Existen tres diagramas de flujo para la filtración terciaria:

Tratamiento completo, filtración directa y filtración por contacto.

1. Tratamiento completo:

El diagrama completo involucra en esencia coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. La efectividad del tratamiento en términos de SST y organismos patógenos es sustancial, y es posible tener un agua libre de virus después de la desinfección. También ha probado ser muy efectivo en la remoción de quistes y ooquistes de protozoos.

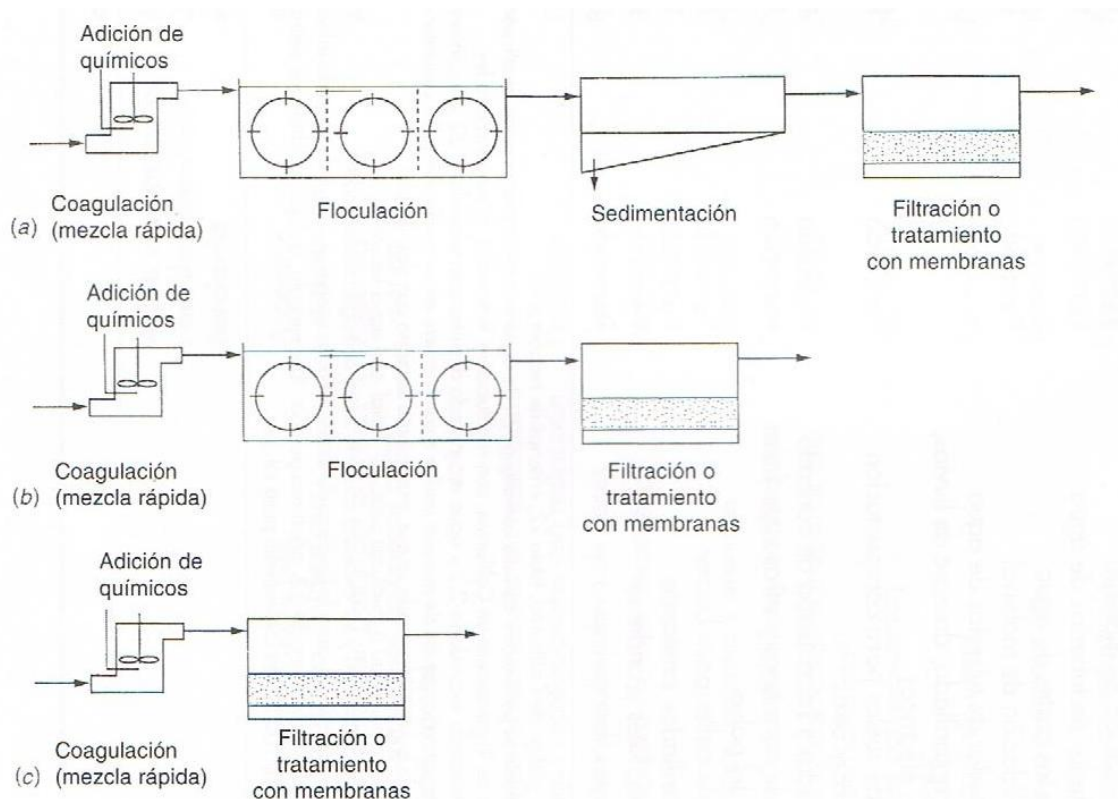
2. Filtración directa:

Es el diagrama de flujo del tratamiento completo sin clarificador. El tanque de floculación es usado para desarrollar los flocs con la adición de sales metálicas y/o polímeros. En un efluente secundario convencional el límite económico al momento de decidir si aplicar un tratamiento completo o por filtración directa o contacto, está en la turbiedad del agua, fijándola en 10 UNT. Por tanto, si el efluente secundario tiene una turbiedad inferior al dato anterior, aplicaremos un tratamiento de filtración directa, hasta alcanzar un valor de 2UNT. La filtración directa es parcialmente efectiva en la remoción de quistes y ooquistes de protozoos.

3. Filtración por contacto:

En la filtración por contacto, las instalaciones de floculación y de clarificación se omiten y el sistema se basa en una coagulación previa a la filtración. Con este tratamiento y un tiempo de contacto de desinfección adecuado, se puede lograr el equivalente a un tratamiento completo para la eliminación de virus. También es parcialmente efectiva en la remoción de quistes y ooquistes de protozoos.

Diagramas de flujo necesarios para el proceso de desinfección UV.



Tchobanoglous Ed.2000

5.4.1. Desinfección

La desinfección se refiere a la destrucción o inactivación selectiva de los organismos causantes de enfermedades, patógenos, y es de fundamental importancia en el manejo de aguas residuales tratadas.

Los principales agentes infecciosos que se presentan en aguas residuales se clasifican en tres grandes grupos, bacterias, parásitos eucarióticos (protozoos y helmintos), y virus.

Las enfermedades causadas por las bacterias asociadas con el agua son la fiebre tifoidea, cólera, fiebre paratifoidea y disentería bacilar.

Los organismos protozoarios *Cryptosporidium parvum*, *Cyclospora* y *Giardia lamblia* son de gran consideración.

Los parásitos helmínticos más importantes son los gusanos intestinales, incluyendo los gusanos estomacales *Ascaris umbricoides*, las tenias *saginata* y la *solium*, los parásitos *Trichuris trichiura*, *Ancylostoma duodenale*, *Necator americanus* y *Strongyloides stercoralis*.

Las enfermedades causadas por los virus asociados con el agua son la poliomielitis y hepatitis infecciosa.

La desinfección normalmente se realiza por:

1. Agentes químicos

Seleccionaremos el cloro y sus compuestos como ejemplo de agente químico desinfectante. Además, aunque menos frecuente se usa el bromo, yodo, ozono, peróxido de hidrógeno, ...etc.

2. Agentes físicos

3. Calor o luz ultravioleta.

Medios mecánicos, procesos de tratamiento individuales.

4. Radiación.

Electromagnética, acústica o particular.

Las características ideales, que debe cumplir un buen desinfectante y que determinan la elección de un tipo u otro de desinfectante, se resumen en la tabla siguiente.

Comparación de las características ideales y las reales de desinfectantes, como el cloro, el hipoclorito de sodio, la radiación UV y el ozono.

<i>Características</i>	<i>Propiedades/ Respuesta</i>	<i>Cloro</i>	<i>Hipoclorito de sodio</i>	<i>Radiación UV</i>	<i>Ozono</i>
Disponibilidad	Debe estar disponible en grandes cantidades y a un precio razonable	Bajo costo	Bajo costo moderado	Alto costo moderado	Alto costo moderado
Capacidad desodorizante	Debe desodorizar mientras desinfecta	Alta	Moderada	N/A	Alta
Homogeneidad	La solución debe ser uniforme en composición	Homogénea	Homogénea	Homogénea	N/A
Interacción con material extraño	No debe ser absorbida por materia orgánica diferente a células bacterianas	Oxida la materia orgánica	Oxidante activo	Absorbancia de radiación UV	Oxida la materia orgánica
Corrosión y mancha	No debe desfigurar metales ni manchar la ropa	Altamente corrosivo	Corrosivo	N/A	Altamente corrosivo
No tóxico a formas de vida superiores	Debe ser tóxico a microorganismos y no tóxico a humanos y otros animales	Altamente tóxico a formas de vida superiores	Tóxico	Tóxico	Tóxico
Penetración	Debe tener la capacidad de penetrar a través de superficies	Alta	Alta	Moderada	Alta
Seguridad	Debe ser seguro de transportar, almacenar, manipular y usar	Alta	Moderada	Baja	Moderada
Estabilidad	La pérdida de acción germicida debe ser baja	Estable	Escasamente estable e inestable	Debe ser generada	Inestable Debe ser generada
Toxicidad a temperaturas ambiente	Debe ser altamente tóxico en altas diluciones	Alta	Alta	Alta como se usa	Alta como se usa
Toxicidad a temperaturas ambiente	Debe ser efectivo a temperaturas ambiente	Alta	Alta	Alta	Alta

Tchobanoglous Ed.20 00

Los principales mecanismos para explicar la acción de los desinfectantes son:

- Daños a las paredes celulares, que producirá la muerte de la célula.
- Alteración de la permeabilidad de la célula, permite que se escapen nutrientes esenciales, como nitrógeno o fósforo.
- Alteración de la naturaleza coloidal del protoplasma, a causa del calor, la radiación y los agentes ácidos o alcalinos fuertes.
- Inhibición de la actividad de las enzimas, debido al efecto de agentes oxidantes como el cloro, o a la acción del calor que desnaturaliza las proteínas.
- Daños al ADN y ARN de la célula, por la acción de la luz ultravioleta.

Mecanismos de desinfección con cloro, UV y ozono

<i>Cloro</i>	<i>Luz UV</i>	<i>Ozono</i>
1. Oxidación.	Daño fotoquímico al ARN y ADN.	Oxidación/destrucción directa de las paredes de la célula con fuga de componentes celulares al exterior de la célula.
2. Reacciones con cloro disponible.	Los ácidos nucleicos en los microorganismos son los más importantes absorbentes de energía de luz en el rango de longitud de onda de 240 a 280 nm.	Reacciones con subproductos radicales de la descomposición del ozono.
3. Precipitación de proteínas.	Debido a que el ADN y el ARN cargan información genética para la reproducción, el daño a éstas inactiva las mismas.	Daño a los componentes de los ácidos nucleicos (purines y primidines).
4. Modificación de la permeabilidad de las paredes de la célula.		Rompimiento de los enlaces de carbón y nitrógeno conduciendo a la despolimerización.
5. Hidrólisis e interrupción mecánica.		

5.4.2. Mecanismo de desinfección

La efectividad de los desinfectantes en el tratamiento de aguas residuales puede ser modelada con una relación general de la siguiente forma:

$$N = \phi (N_0, W_f, D^n)$$

donde:

N = número de organismos que permanecen después de la desinfección.

N_0 = número de organismos presentes antes de la desinfección.

W_f = factor de calidad del agua.

D = dosis de desinfectante.

n = coeficiente empírico.

Las características del agua residual determinan el factor de calidad del agua y tiene en cuenta:

- (1) El tamaño y distribución del mismo, y la concentración de las partículas que componen los SST.
- (2) La naturaleza de los organismos, el número y su distribución en el líquido.
- (3) La presencia de componentes químicos que pueden reaccionar con el desinfectante y/o absorber la energía radiante como la luz UV.

En el cuadro “Comparación del impacto de las características de aguas residuales en la desinfección con cloro, UV y ozono”, se puede ver el efecto de algunos contaminantes.

Comparación del impacto de las características de aguas residuales en la desinfección con cloro, UV y ozono

<i>Características de A.R.U</i>	<i>Desinfección con cloro</i>	<i>Desinfección con UV</i>	<i>Desinfección con ozono</i>
<i>Amonio</i>	Se combina con el cloro para formar cloraminas.	Ningún o poco efecto.	Ningún o poco efecto, puede reaccionar a pH alto.
<i>DBO, DQO, etc.</i>	Compuestos orgánicos que pueden compensar la DBO y la DQO pueden ejercer la demanda de cloro. El grado de interferencia depende de sus grupos funcionales y su estructura química.	Ningún o poco efecto a menos que los materiales húmicos constituyan una gran porción de la DBO.	Compuestos orgánicos que pueden compensar la DBO y la DQO pueden ejercer la demanda de ozono. El grado de interferencia depende de la estructura química.
<i>Dureza</i>	Ningún o poco efecto.	Afecta la solubilidad de metales que pueden absorber la radiación UV. Puede conducir a la precipitación de carbonatos en tubos de cuarzo.	Ningún o poco efecto.
<i>Metales húmicos</i>	Reduce la efectividad del cloro.	Fuentes absorbentes de radiación UV.	Afecta La tasa de descomposición del ozono y la demanda de éste.
<i>Hierro</i>	Ningún o poco efecto.	Fuentes absorbentes de radiación UV.	Afecta la tasa de descomposición del ozono y la demanda de éste.
<i>Nitrito</i>	Oxidado por el cloro.	Ningún o poco efecto.	Oxidado por el ozono.
<i>Nitrato</i>	Ningún o poco efecto.	Ningún o poco efecto.	Puede reducir la efectividad del ozono.
<i>pH</i>	Afecta La distribución entre ácido hipoclorito y el ion hipoclorito.	Puede afectar la solubilidad de los metales y carbonatos.	Afecta la tasa de descomposición del ozono.
<i>SST</i>	Escudamiento de las bacterias embebidas.	Absorción de radiación UV y encubrimiento de bacterias embebidas.	Aumenta la demanda de ozono y el encubrimiento de bacterias embebidas.

Tchobanoglous Ed.2000

La **dosis de desinfectante**, determinada por las características de la mezcla inicial y el tiempo de exposición, corresponde a la relación:

$$\mathbf{Dosis}_{\text{agente químico}} = \mathbf{C \times t}$$

$$\mathbf{Dosis}_{\text{agente físico}} = \mathbf{I \times t}$$

donde:

C = concentración de agentes químico.

t = tiempo de contacto.

I = intensidad del agente físico.

Para una concentración de desinfectante dada, y suponiendo que los organismos individuales son entidades discretas dentro del fluido, se propone el siguiente modelo simplificado de primer orden para describir la disminución de organismos con el tiempo (*Chick, 1908*):

$$\mathbf{N = N_0 e^{-kt}}$$

donde:

N = número de organismos que permanecen después de la desinfección.

N₀ = número de organismos presentes antes de la desinfección.

k = constante de decaimiento que refleja el impacto de los factores que afectan la acción del desinfectante.

t = tiempo.

Si el modelo propuesto por Chick se combina con el concepto propuesto por Watson (1908), el modelo según Haas y Kara (1984) es:

$$\mathbf{N = N_0 e^{-k_c^n t}}$$

donde:

C = concentración del agente químico.

n = constante empírica.

Sin embargo, es imposible aplicar esta relación, debido a la presencia de SST en las aguas residuales tratadas. El efecto de estos se puede observar en la figura siguiente. Se observa que debido al aumento de concentración de SST es más difícil alcanzar concentraciones menores de organismos a una dosis dada, debido al encubrimiento de los organismos por las partículas.

Cuando se utiliza un agente químico como desinfectante este efecto puede ser superado incrementando la concentración química. En cambio, si aplicamos la tecnología ultravioleta, el aumento de intensidad no mejora el efecto de la desinfección. Para mejorar el rendimiento por tanto, es imprescindible modificar las partículas, aplicando tecnologías de filtración en medio granular o membranas.

5.4.3. Tecnologías de desinfección

En la actualidad existen diversos métodos de desinfección, la elección de uno u otro se debe, entre otros, a varios factores:

Factores que afectan a la acción de los desinfectantes.

Factor	Descripción
Mezcla inicial	<i>Si la mezcla inicial se prolonga, el desinfectante puede reaccionar con los componentes del agua residual</i>
Tiempo de contacto	<i>Tiempo de exposición al agente químico o la intensidad para que la acción del desinfectante sea satisfactoria.</i>
Concentración y tipo de agente químico	
Intensidad y naturaleza del agente físico	
Temperatura	<i>Afecta a la reactividad y las constantes de ionización</i>
Número y tipo de organismos	<i>Los organismos que nadan libremente son menos importantes que los escudados en grupos de partículas o bacterias. Tienen resistencias variables a los agentes desinfectantes.</i>
Características del agua residual	<i>Las características físico-químicas y biológicas tienen influencia significativa en la efectividad de los agentes desinfectantes. Por ejemplo, la presencia de SST.</i>
Otros condicionantes	<i>Productos resultantes de la desinfección que pueden permanecer en el agua y la posible acción nociva de los mismos.</i>

Tchobanoglous Ed.2000

Los tres alternativas más utilizadas para la desinfección de aguas residuales son: la cloración, la ozonización y la radiación ultravioleta. En la desinfección mediante la ozonización y la cloración se utilizan agentes químicos mientras que la radiación ultravioleta utiliza un agente físico, como vimos anteriormente.

1. Cloración

En la actualidad, para la destrucción de organismos patógenos, el cloro y sus compuestos, es el más universalmente utilizado.

Los compuestos del cloro más comúnmente empleados en las plantas de tratamiento de aguas residuales son el cloro gas (Cl_2), el hipoclorito sódico (NaOCl), el hipoclorito de calcio [$\text{Ca}(\text{OCl})_2$], y el dióxido de cloro (ClO_2). Los hipocloritos sódicos y cálcicos se suelen emplear en las plantas pequeñas, especialmente en las prefabricadas, en las que la simplicidad y seguridad son criterios de mayor peso que el coste. El hipoclorito de sodio se emplea en las plantas de gran tamaño, principalmente por cuestiones de seguridad relacionadas con las condiciones locales. El dióxido de cloro también se emplea en las instalaciones de tratamiento debido a que tiene algunas propiedades poco frecuentes, como no reaccionar con el amoníaco, hacen imprescindible su utilización.

El cloro, es un gas amarillo verdoso, con un olor irritante característico, incluso a concentraciones muy débiles. A continuación se resumen ciertas características que determinan su papel en la desinfección:

- En frío, no ataca a los metales, pero en caliente, el cloro seco reacciona casi con todos los metales e hidrocarburos.
- Tiene gran capacidad de reacción, es tóxico y produce efectos nocivos sobre el organismo humano.
- Las mezclas constituidas por hidrógeno y más de un 4% de cloro son muy explosivas y muy sensibles a la acción de la luz.
- La solubilidad depende de la temperatura y la presión.

- Cloro gas

El cloro gas se licúa por compresión, dependiendo de la temperatura. La presión de vapor en kg/cm^2 puede ser 4 kg a 2°C , a 6 kg a 15°C , 8 kg a 25°C y 12 kg a 40°C . Se almacena habitualmente en forma licuada en botellas de tamaños variables entre cilindros de 68 kg y contenedores de 1 tonelada, camiones multicisterna que almacenan 15 contenedores de una tonelada, y camiones cisterna con capacidades de 16, 30 y 55 toneladas.

El cloro a presión de los recipientes contenedores, se conduce mediante tubos hasta el equipo de desinfección propiamente dicho, este equipo asegura la expansión del cloro a presión constante y permite regular el caudal del gas una vez expandido.

El cloro gas se disuelve en un pequeño caudal de agua y es esta solución clorada la que se introduce en el agua a tratar.

En los casos en que no se disponga de un caudal con suficiente presión para efectuar la disolución, se puede inyectar directamente el cloro gas. Este procedimiento, si bien muy simple, presenta problemas de corrosión en el punto de inyección, por ello se recomienda efectuar una disolución previa.

Puntos desfavorables

- Se produce interferencia debido a la presencia de componentes orgánicos presentes en el agua residual. Muchos de éstos, reaccionan con el cloro dando lugar a compuestos tóxicos que pueden tener efectos adversos a largo plazo en los usos benéficos de las aguas a las que son descargados. Por ejemplo los trihalometanos, que se forman por reacción de los ácidos húmicos y flúvicos con el cloro. Esto hace necesario un proceso de dechloración.

- Debido a las propiedades del cloro gas, se necesitan unas instalaciones con unas condiciones de seguridad exhaustivas, tanto para el almacenaje, distribución y dosificación.

- Hipoclorito

Las preocupaciones sobre la seguridad asociada con el manejo y almacenamiento de cloro líquido y gas han conducido al uso de los hipocloritos, [$\text{Ca}(\text{OCl})_2$] y (NaOCl). Se suelen emplear en pequeñas plantas de tratamiento debido al elevado coste del reactivo, y del manejo de grandes volúmenes de éstos.

La utilización del hipoclorito se efectúa en forma de disolución. Para su dosificación en el agua a desinfectar se utiliza un equipo para almacenamiento y mezcla previos a una bomba dosificadora con inyector líquido para la disolución.

Los recipientes contenedores del clorito deben ser materiales inertes al mismo, tales como cloruro de polivinilo o polietileno, los contenedores de acero de cobre no son recomendables por la posibilidad de reacción de estos metales.

El hipoclorito de calcio se comercializa en forma seca o líquida, con un porcentaje en cloro libre de al menos 70 por 100. Se disuelve fácilmente en agua y bajo condiciones favorable de almacenamiento, lugares frescos y secos, son relativamente estables. Debido a su tendencia a cristalizar, puede provocar obturaciones en las bombas de dosificación, conducciones y válvulas.

El hipoclorito de sodio se comercializa a granel con porcentajes de cloro libre del 12 por 100. La solución se descompone más fácilmente a mayores concentraciones y se ve afectada por la exposición a altas temperaturas y luz solar, por ello debe almacenarse en lugares frescos. La manipulación del hipoclorito de sodio requiere consideraciones de proyecto especiales y costosas debido a su poder corrosivo y la presencia de vapores de cloro.

Ventajas respecto al cloro

✓ Se eliminan los riesgos asociados al manejo y almacenamiento de cloro líquido.

✓ La eficiencia germicida del hipoclorito es la misma que para el cloro, ya que los agentes activos son los mismos, aunque la demanda de cloro líquido es mayor para una eficiencia dada.

Puntos desfavorables

- Sólo es aplicable a pequeñas instalaciones, debido al elevado coste que supone el manejo de grandes volúmenes de reactivos.
- Permanecen las mismas preocupaciones generales sobre los impactos ambientales de largo plazo que producen los subproductos tóxicos resultantes de la aplicación de cloro.

2. Ozonización

El ozono es la forma alotrópica del oxígeno elemental, O_3 , es un gas de color azul característico, muy inestable, detectable y fácilmente reconocible por su olor picante con concentraciones entre 0,08 y 0,1 p.p.m.

- Se desintegra fácilmente en el agua de forma que los residuales permanecen por corto tiempo.
 - La conversión del O_2 en O_3 es un proceso endotérmico que exige una absorción de 34.410 cal. por mol de ozono formado.
 - Tiene alto potencial de oxidación, con lo cual es un excelente oxidante.
 - Se descompone fácilmente, dando lugar a radicales hidroxilo (OH), agente oxidante poderoso, no discriminante y un intermediario deseable para la oxidación de los solutos (sustratos orgánicos e inorgánicos, y microorganismos). La descomposición es una función compleja de la temperatura, pH y la constitución de constituyentes orgánicos o inorgánicos
- El método más eficiente para la producción de ozono se da a través de descargas eléctricas. Es generado a partir de aire o de oxígeno puro mediante la aplicación de una corriente alterna de alta tensión a dos electrodos entre los cuales se sitúa un dieléctrico que, junto con el electrodo de tierra, delimita el espacio real de descarga. La concentración de ozono

obtenida es proporcional a la intensidad de la descarga eléctrica, suele ser del orden de 0,5 a 3% de ozono por peso.

Ventajas respecto al cloro

- ✓ El ozono es un reactivo en extremo oxidante. La muerte de bacterias ocurre directamente por la desintegración de las paredes celulares, debido a un proceso de oxidación catalítica, mientras que el cloro actúa lentamente por envenenamiento enzimático selectivo.
- ✓ Es más activo que el cloro frente a esporas y quistes, en condiciones de aplicación óptimas para cada reactivo
- ✓ Es un virucida efectivo, actúa oxidando globalmente la materia de estos. Se ha demostrado la existencia de un umbral de la dosis residual de ozono ($0,3 \text{ g/m}^3$) por encima de la cual la inactivación es total. Si esta dosis se mantiene al menos 4 minutos, el grado de inactivación es superior al 99,99% de los virus presentes al principio.
- ✓ No produce sólidos disueltos, y no se ve afectado por el ión amonio o la influencia del pH es menos significativa, a excepción de altos valores del mismo.
- ✓ Debido a que se descompone rápidamente, no persisten residuos químicos en el efluente tratado que requieran la remoción. Como consecuencia de esta propiedad, se elevará la concentración de oxígeno disuelto cerca de los niveles de saturación, no teniendo que reairear el efluente para cumplir la normativa.

Puntos desfavorables

- Es un producto caro que hay que producir in-situ. El coste inicial de un sistema completo de tratamiento con ozono es bastante elevado, comparando con otros oxidantes, no sólo es necesario el ozonizador, sino también la unidad de tratamiento y secado de aire, la cámara de contacto, la desgasificación y posterior eliminación del ozono residual, además de los elementos de control, sofisticados autómatas electrónicos.
- El ozono es poco soluble en el agua, lo cual limita extremadamente su aplicación, a 20 °C sólido se disuelven 570 mg/l, algo más soluble que el oxígeno, pero doce veces menos que el cloro.

- En apariencia resulta ideal por su potencia y poca persistencia pero hay que estudiar un poco más en profundidad su efecto sobre los compuestos orgánicos, y ver los compuestos que se producen. Necesidad de una desinfección residual.

5.5. DESINFECCIÓN MEDIANTE LUZ ULTRAVIOLETA

La luz ultravioleta es una alternativa de desinfección al uso del cloro y ozono en muchas aplicaciones de tratamiento de aguas potables y residuales. Con la dosis apropiada, garantiza la desinfección efectiva, bactericida y virucida, sin producción de subproductos tóxicos de desinfección problemáticos.

Luz ultravioleta es esa porción del espectro electromagnético que se encuentra entre los rayos X y la luz visible. Se han definido cuatro regiones del espectro UV:

- UV al vacío entre 100 y 200nm.
- UVC entre 200 y 280 nm.
- UVB entre 280 y 315 nm.
- UVA entre 315 y 400 nm.

Espectro electromagnético según Meulemans



Aurelio Hernández Ed.2001

El sol es una fuente de luz ultravioleta, la absorción de radiación de longitud de onda corta por la capa de ozono impide que alcancen en la Tierra cantidades significativas de UVB y UVC. Por ello, las aplicaciones prácticas de desinfección dependen de fuentes artificiales de UV, las lámparas de mercurio.

Fuentes de la radiación ultravioleta

Para producir energía UV se cargan, mediante la aplicación de un arco eléctrico, lámparas especiales que contienen vapor de mercurio. La energía generada por la excitación del vapor de mercurio contenido en la lámpara genera la emisión de luz ultravioleta.

Una lámpara de arco de mercurio consiste en un tubo herméticamente cerrado de vidrio silíceo o cuarzo, con electrodos a ambos extremos. El tubo se llena con una pequeña cantidad de mercurio y gas inerte, usualmente argón a presión de algunos torricellis (torr). Los electrodos están compuestos normalmente de tungsteno con una mezcla de metales alcalinotérreos para facilitar la formación del arco dentro de la lámpara. Una descarga de gas, producida por un voltaje elevado a través de los electrodos, genera la luz ultravioleta, emitida desde la lámpara cuando el vapor de mercurio excitado por la descarga retorna a un nivel menor de energía. El argón ayuda para el arranque de la lámpara, y para extender la vida del electrodo, reduciendo las pérdidas térmicas. El argón no contribuye al espectro de rendimiento de la lámpara.

La energía es entregada a la lámpara a la frecuencia de línea de 50 o 60 Hz.

Sólo los rayos que son absorbidos por las células son bactericidas y actúan sobre los microorganismos. Los ultravioletas son los mejores bactericidas. La máxima penetración se produce con longitudes de onda de 254 nm, la cual es cercana a 260 nm de longitud de onda que es más efectiva para la inactivación bacterial.

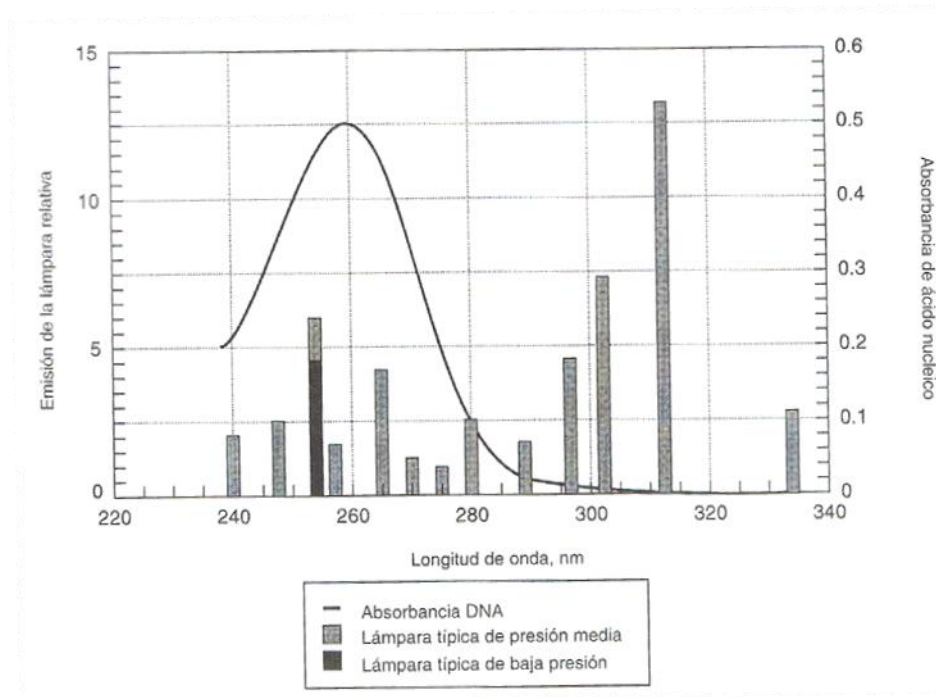
Los sistemas de desinfección con luz UV se categorizan según los parámetros internos de operación de las lámparas UV como sistemas de baja presión, baja y alta intensidad, y presión media, alta intensidad.

Las lámparas de baja presión, baja y alta intensidad, generan radiación monocromática de 254 nm de longitud de onda. Las lámparas de baja presión y alta intensidad generan de 2 a 4 veces la intensidad UV que las de baja presión y baja intensidad.

Las lámparas de presión media y alta intensidad generan radiación policromática. Son menos eficientes en la generación de longitudes de onda de 254 nm, ya que sólo del 20 al 40 % está en dicho rango, generando otras

longitudes de onda germicidas. Sin embargo, generan aproximadamente 15 o 20 veces más la intensidad germicida UV que las lámparas de baja presión y baja intensidad.

Espectro de radiación de una lámpara UV de baja presión, baja y alta intensidad, y de media presión y alta intensidad.



Tchobanoglous Ed.2000

- Sistemas UV de baja presión

Las lámparas de arco de mercurio de baja presión, de baja y alta intensidad, varían en longitud de 35 a 163 cm y tienen un diámetro entre 1,2 y 1,9 cm. El mercurio es introducido en la lámpara como una gota, 50-100 mg Hg en una lámpara de baja presión de 1,5 m. Las lámparas son diseñadas para operar a eficiencia máxima con una temperatura de pared de lámpara de 40°C y un arco eléctrico de energía de cerca de 0,3 W/cm, bajo una presión de vapor de Hg de 7×10^3 Torr.

Las fundas de cuarzo se usan para aislar las lámparas UV del contacto directo con el agua y para controlar la temperatura de las paredes de las lámparas. Dado que hay un exceso de mercurio líquido, la presión de vapor de mercurio es controlada por la parte más fría de la pared. Si la pared no permanece a la temperatura óptima de 40°C, parte del mercurio en ella se

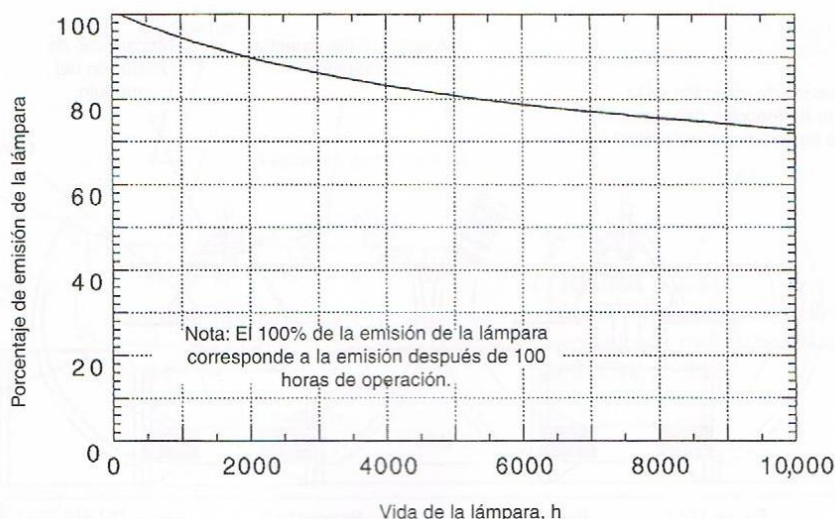
condensa retornando a su estado líquido. De esta manera, se disminuye el número de átomos de mercurio disponibles para liberar fotones de UV. En la mayoría de los casos, el efluente tiene un efecto refrigerante sobre la funda de cuarzo, y los balastos deben proveer una potencia adicional para compensar esta pérdida de calor adicional. Las fundas actúan amortiguando los extremos de temperatura del efluente a los que se someterían las lámparas, manteniendo una salida más o menos uniforme.

Cerca de 88% de la salida de la lámpara es monocromática a 253,7 nm, aunque el resto supone una radiación a una longitud de onda de 185 nm, que sin la presencia de las fundas de cuarzo daría lugar a la producción de ozono.

Una lámpara de baja presión estándar de 147 cm de longitud debe esperarse que produzca 26,7 W de UV a 254 nm. cuando se le conecta una fuente de energía de 75 W.

Con el tiempo, la salida de las lámparas de baja presión y baja intensidad disminuye debido a la reducción en la combinación de electrones dentro de ellas y al envejecimiento de la funda de cuarzo. La vida útil de las lámparas de baja presión y baja intensidad varía de 10.000 a 13.000 h, dependiendo del número de ciclos por día. La vida útil de las fundas es aproximadamente de 4 a 8 años.

Reducción habitual en la salida de lámparas UV de baja presión y baja intensidad debido al envejecimiento.



Tchobanoglous
Ed.2000

Las lámparas de baja presión y alta intensidad son similares a las de baja intensidad, con la excepción que se utiliza una amalgama de mercurio-indio en vez de mercurio. El uso de dicha amalgama permite una mayor salida de UV (de 2 a 4 veces mayor), mayor estabilidad sobre un amplio rango de temperaturas, y una mayor vida de la lámpara (25% más que la lámpara de baja presión). La amalgama es utilizada para mantener un nivel constante de átomos de mercurio.

- Sistemas UV de media presión

Las lámparas de mercurio de presión media y alta intensidad varían en longitud de 25 a 70 cm y tienen un diámetro aproximado de 2,2 cm. Una masa medida de mercurio es introducida en las lámparas (1,4 a 15 mg Hg/cm). Las lámparas están diseñadas para operar a una energía eléctrica de arco relativamente alta de 48 a 126 W/cm. De igual manera, la temperatura de pared de la lámpara se encuentra entre 650 y 850°C y todo el mercurio dentro de la lámpara se vaporiza a una presión de vapor de 102-104 Torr. Debido a la alta temperatura del plasma dentro de la lámpara, el mercurio vaporizado existe en varios estados de excitación, la transición a un nivel menor de energía provoca la liberación de luz a distintas longitudes de onda, como pudimos ver en el grafico anterior.

La alta temperatura de operación hace que la salida de UV de tales lámparas no se vea afectada por la temperatura del efluente. Además, por este mismo motivo, la limpieza mecánica de las fundas de cuarzo resulta imprescindible para evitar la formación de una película fija en la superficie de estas.

Una lámpara de media presión opera a una potencia eléctrica de arco de 107 W/cm, y genera 9,38 W/cm de UVC y 8,19 W/cm de UVB. *Una lámpara de presión media de 25 cm de longitud puede ser diseñada para producir 450 W de UVB y UVC con una energía eléctrica de 2,8 kW.*

- Comparación entre UV baja presión y media presión

Mientras que las lámparas de baja presión son eléctricamente más eficientes que las de presión media, las lámparas de mediana presión producen una potencia ultravioleta mayor por lámpara. Por tanto, los

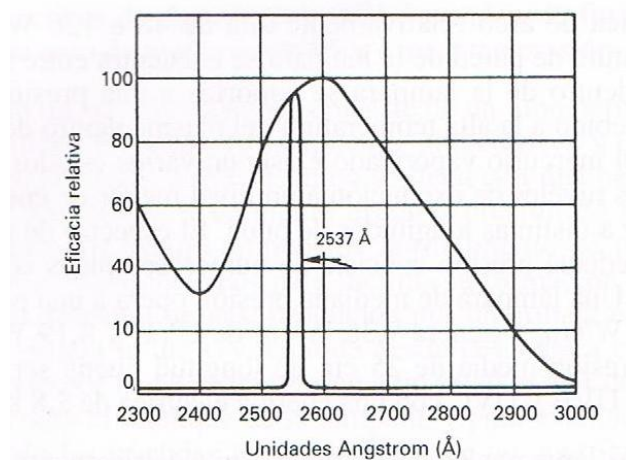
sistemas UV de presión media tienen menos lámparas, ocupan menos espacio y requieren menos mantenimiento. De igual forma, debido al menor número de lámparas, los sistemas de media presión pueden incorporar en forma económica sistemas de limpieza automáticos para remover la suciedad que se acumula en las lámparas durante la desinfección.

5.5.1. Fuentes de generación de la radiación ultravioleta

Tal como se ha comentado anteriormente, los ultravioletas eficaces en la desinfección se encuentran entre los 200 nm y 400 nm o bien entre los 2000 y 4000 Angstrom (Å), (1Å es igual a $1\text{ mm} \times 10^{-6}$).

La radiación más eficaz es la UV de onda corta, con una longitud de onda en el torno de los 2537 Å , o 260 nm , como podemos ver en la figura:

Efecto germicida de la Radiación Ultravioleta



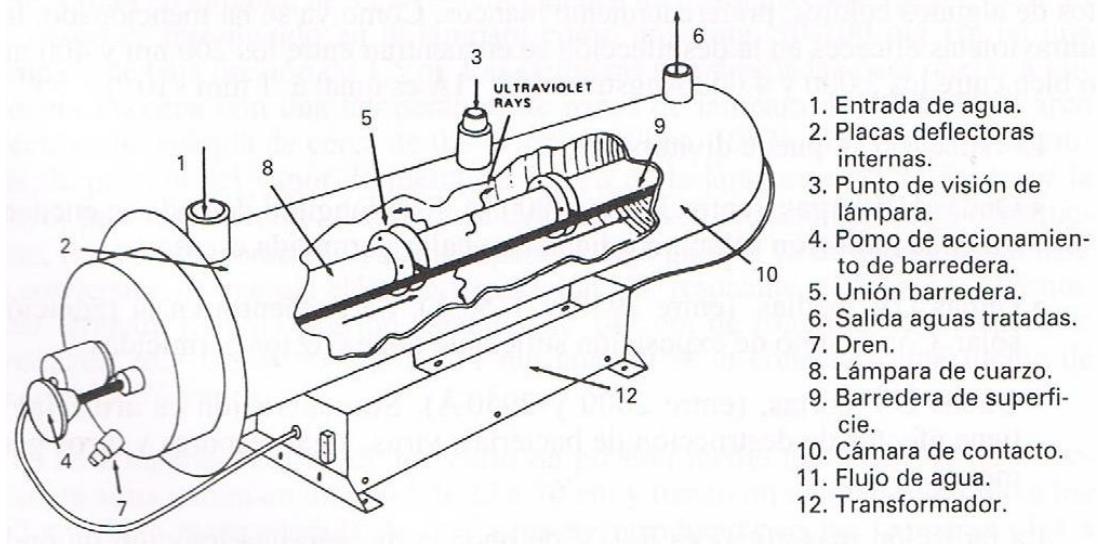
Aurelio Hernández Ed.2001

El alcance efectivo de estas radiaciones llega hasta 30 cm desde la lámpara.

Es condición indispensable que el agua sea completamente clara, si su turbiedad es superior a 15 p.p.m es necesario filtrarla, pues de lo contrario las materias en suspensión hacen de pantalla e impiden la actuación de las radiaciones.

El esquema de una instalación de radiación UV se puede ver en la figura siguiente, donde se observa un tubo de radiación ultravioleta en una cámara cilíndrica para lograr el tiempo de exposición necesario.

Esquema de un elemento de Radiación Ultravioleta



Aurelio Hernández Ed.2001

El agua entra en la cámara y se distribuye uniformemente circulando entre la lámpara y la pared de la cámara.

Las placas deflectoras internas generan turbulencia en el flujo del agua para asegurar una exposición uniforme a los rayos UV.

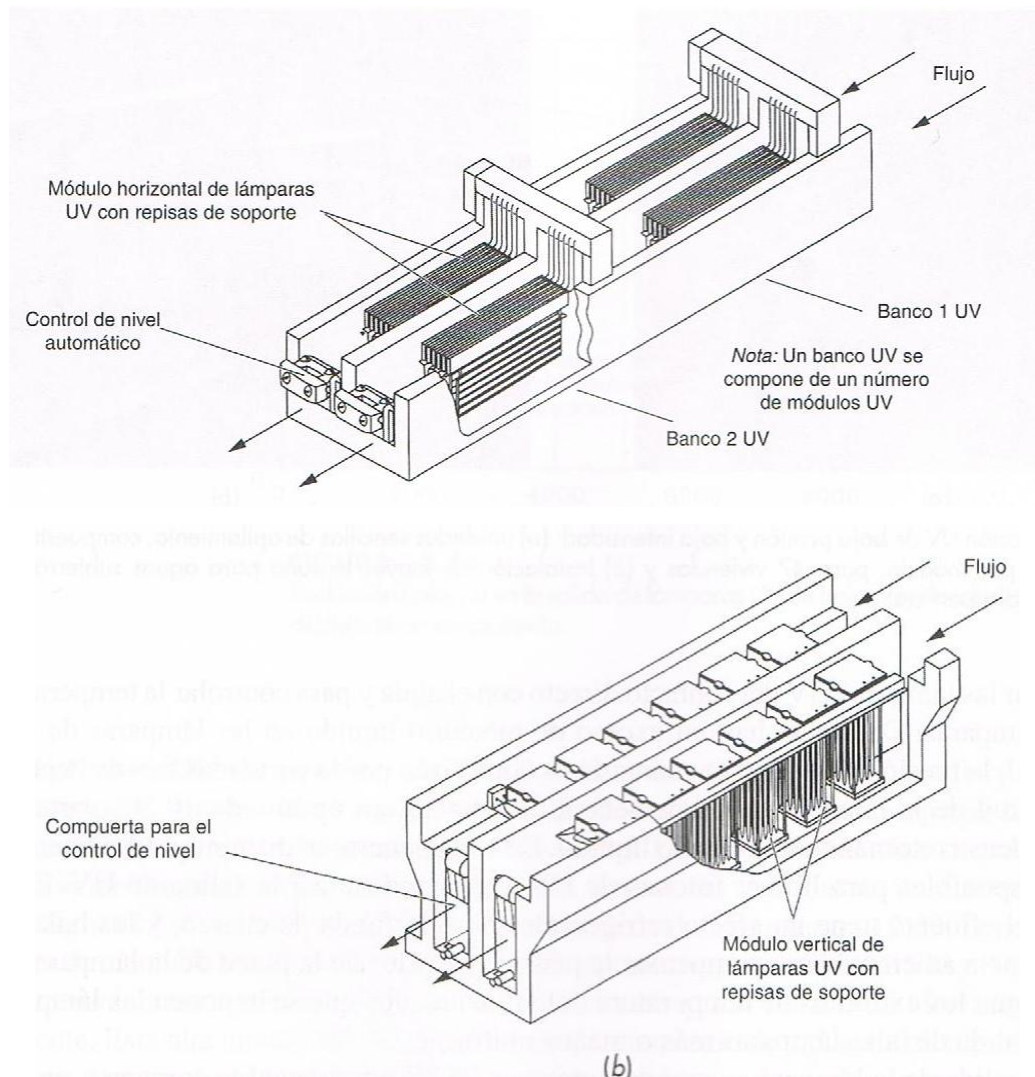
Los sistemas de reactores UV están formados por módulos y pueden ser clasificados en sistemas de canal abierto, o sistemas de contacto en conducto cerrado.

Los principales sistemas de un sistema de desinfección UV se pueden observar en la figura siguiente.

Vista de corte isométrico de sistemas de desinfección UV con cubierta enrejada removida:

A: sistema de lámparas horizontales paralelas al flujo

B: sistema de lámparas verticales perpendiculares al flujo



Tchobanoglous Ed.2000

Como se muestra, se utilizan tanto los sistemas de flujo de desinfección UV horizontales (paralelos) como verticales (perpendiculares). El caudal de diseño se divide por igual entre el número de canales abiertos. Cada canal contiene dos o más baterías de lámparas UV en serie, y cada batería se compone de un número específico de módulos (repisas de lámparas UV). Cada módulo contiene un número específico de lámparas UV encajonadas en fundas de cuarzo. El número de lámparas UV por cada módulo es 2,4,8,12 ó 16. Los fabricantes de sistemas de desinfección UV

configuran las lámparas con un espaciamiento de 75 mm entre los centros de las lámparas. Una compuerta de alerón pesada se utiliza para controlar la profundidad de flujo a través de cada canal de desinfección. Para superar el efecto de obstrucción, el cual reduce la salida de las lámparas, los módulos de lámparas deben ser removidos periódicamente del canal de flujo, y las lámparas, limpiadas de forma manual o mecánica.

Este tipo de configuración se utiliza principalmente en sistemas de baja presión, baja y alta intensidad.

Para los sistemas UV de media presión y alta intensidad, las lámparas forman módulos que están ubicadas en un reactor con una geometría fija.

5.5.2. Mecanismo de desinfección por radiación ultravioleta

Cinética de inactivación

La radiación ultravioleta tiene como inconveniente el de no proporcionar un poder desinfectante residual, además de que no se puede establecer fácilmente la eficiencia del proceso.

Los microorganismos son inactivados por luz UV como resultado del daño fotoquímico a sus ácidos nucleicos. La radiación UV es absorbida por nucleótidos. Los bloques de construcción del DNA y RNA celulares son afectados por la longitud de onda con picos de cerca de 200 y 260 nm (Sonntag y Schuchmann, 1992). El UV absorbido promueve la formación de uniones entre nucleótidos adyacentes, creando moléculas dobles o dímeros (Jagger, 1967). La formación de un número suficiente de dímeros dentro de un microorganismo impide que se duplique su DNA y RNA, impidiendo así su reproducción. Debido a la dependencia en la longitud de onda de la absorción UV del DNA, la inactivación UV de los microorganismos es también una función de la longitud de onda.

La cinética de inactivación microbiana por radiación UV se ajusta a la ley de Chick:

$$N = N_0 e^{-kt}$$

donde:

N = número de organismos que permanecen después de la desinfección.

N_0 = número de organismos presentes antes de la desinfección.

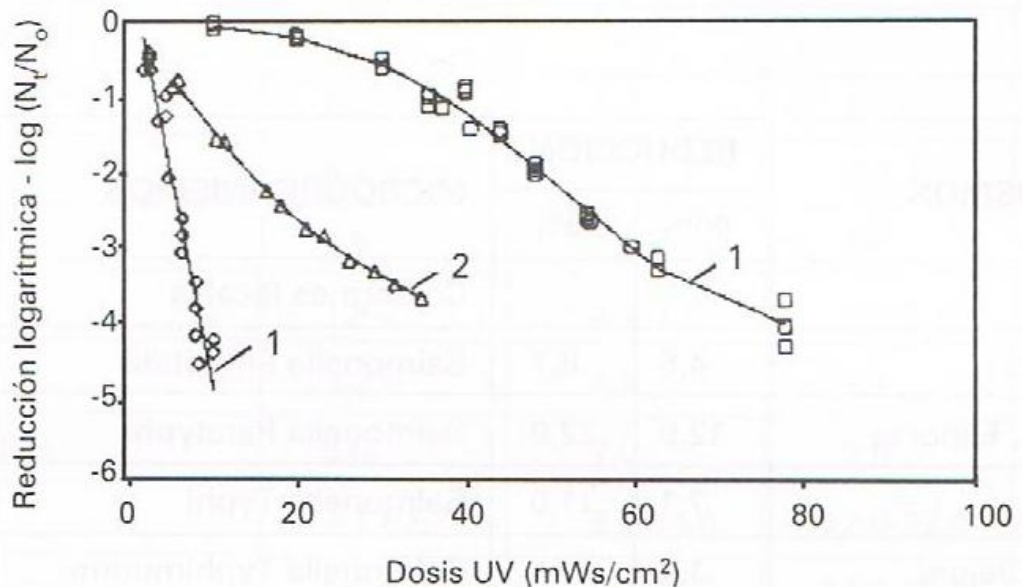
k = constante de inactivación

I = intensidad UV.

t = tiempo.

La dosis ultravioleta se define como el producto de la intensidad de la radiación UV por el tiempo. La figura representa gráficamente el valor de inactivación como función de la dosis UV aplicada.

Cinética de inactivación de la desinfección por UV



Aurelio Hernández Ed.2001

Tasas de inactivación

Las tasas de inactivación microbiana varían dependiendo de la especie microbiana, la población microbiana y la longitud de onda de la luz UV. En

general, las bacterias son menos resistentes a la longitud de onda de 254 nm que los virus, los cuales a su vez pueden ser menos que las esporas de bacterias. Mientras que los quistes y oquistes de protozoarios son considerados como los patógenos microbianos más resistentes a la radiación. Las dosis de inactivación de bacterias patogénicas son normalmente muy similares a las dosis requeridas para la desinfección de indicadores fecales, tales como coliformes fecales.

Dosis UV en mWs/cm² necesarias para activar una población microbiana

MICROORGANISMOS	REDUCCIÓN		MICROORGANISMOS	REDUCCIÓN	
	90%	99%		90%	99%
BACTERIAS			Coliformes fecales	3,4	6,8
Bacillus Anthracis	4,5	8,7	Salmonella Enteritidis	4,0	7,6
Bacillus Subtilis, Esporas	12,0	22,0	Salmonella Paratyphi	3,2	
Bacillus Subtilis	7,1	11,0	Salmonella Typhi	2,1	
Campylobacter Jejuni	1,1		Salmonella Typhimurium	3	
Clostridium Tetan	12,0	22,0	Sigella Dysenteriae	2,2	4,2
Corynebacterium Diphtheriae	3,4	6,5	Sigella Flexneri	1,7	3,4
Escherichia Coli	3,0	6,6	Sigella Sonnei	3,0	5,0
Klebsiella Terrigena	2,6		Staphylococcus Aureus	5,0	6,6
Legionella Pneumophila	0,9	2,8	Staphylococcus Faecalis	4,4	
Sarcina Lutea	20,0	26,4	Staphylococcus Pyogenes	2,2	
Mycobacterium Tuberculosis	6,0	10,0	Vibrio Cholerae (V. Comma)		6,5
Pseudomonas Aeruginosa	5,5	10,5	Yersinia Enterocolitica	1,1	
VIRUS			Influenza Virus	3,6	6,6
Ms-2 Colifagus	18,6		Polio Virus	5-8	14,0
F- Bacteriophagus especific.	6,9		Rotavirus	6-15	15-40
Hepatitis A	7,3				
PROTOZOARIOS			ALGAS		
Giardia Lamblia	82,0		Verde azuladas	300,0	600,0
Cryptosporidium Parvum	80,0	120,0	Chlorella Vulgaris	12,0	22,0
LEVADURA					
Saccharomyces Cerevisiae	7,3	13,2			

Aurelio Hernández Ed. 2001

Dosis requeridas

Debido a la cantidad de factores que determinan la dosis UV mínima requerida, nos resulta bastante difícil obtener un dato que no fluctúe como consecuencia de la gran variabilidad de los mismos. La calidad del agua a

tratar, el nivel de contaminación microbiana, la eficiencia de los procesos de tratamiento anteriores, y el nivel aceptable de riesgo, son algunos de estos factores.

Como consecuencia, se reconoce que es improbable que un enfoque puramente determinista pueda desarrollarse para predecir el comportamiento de un sistema de desinfección con UV usando las medidas actuales de la calidad de las aguas residuales.

Los requerimientos de dosis UV pueden ser determinados un aparato de rayo colimado, o bien una unidad piloto de desinfección instalada in situ. En un estudio de rayo colimado, una placa de Petri conteniendo una muestra de agua es irradiada en una manera controlada usando una fuente UV de intensidad conocida. Se pueden establecer relaciones de respuesta a la dosis UV mediante la variación del tiempo de exposición, o del caudal a tratar, si se tratase de la unidad piloto. La curva de respuesta a la dosis UV proveerá información acerca de la sensibilidad de los microbios al UV y al impacto de microbios asociados con partículas en la obtención de desinfección. Además, es obtenida para la muestra de calidad de agua más pobre esperada, niveles altos de sólidos en suspensión o turbidez, contenido máximo de microbios y niveles altos de compuestos absorbentes de UV solubles y particulados.

Modelación de la desinfección UV

Para tratar con las diferentes variables que pueden afectar, se ha desarrollado un modelo de regresión empírica para predecir el comportamiento de los sistemas de desinfección con UV en la región de desecho (Emerick y Darby, 1993). La forma general del modelo es:

$$N = W_f(I \times t)^n$$

donde:

N = concentración total de coliformes después de la exposición a la luz UV, NMP/100 mL.

W_f = factor de calidad del agua.

I = intensidad promedio de radiación UV en el reactor, mW/cm^2 .

t = tiempo de exposición, s (suponiendo condiciones aproximadas de flujo pistón).

n = coeficiente empírico relacionado con la dosis.

El factor de calidad del agua, se define como:

$$W_f = A (SST)^a (TSF)^b (N_0)^c \beta^d$$

donde:

SST = sólidos suspendidos totales, mg/L .

TST = transmitancia sin filtración del líquido a 254 nm, %.

N_0 = concentración total de coliformes en el afluente, NMP/100 mL.

B = distribución del tamaño de partículas.

A, a, b, c, d = coeficientes empíricos.

La intensidad de UV es determinada por una configuración dada de lámparas usando el método de la suma del punto fuente (SPF) desarrollado por Jacob y Dranoff (1970), y ampliado posteriormente. Un programa para calcular la I de UV con el método SPF se encuentra disponible en la U.S. EPA.

Para una planta de tratamiento dada, no todas las variables incluidas en la ecuación anterior pueden ser significativas estadísticamente, mientras que para otras se pueden requerir variables adicionales.

El método de múltiple correlación permite la consideración de todas las variables que puedan afectar el proceso de desinfección UV. Una representación gráfica de la ecuación se presenta en la siguiente figura, aplicando la ecuación siguiente:

$$W_f = A (SST)^a (TSF)^b$$

Como se puede observar, la dosis de UV requerida ($I \times t$) dependerá de los requerimientos de descarga de los efluentes.

Diseño del reactor UV

El diseño de un sistema de desinfección UV requiere dos pasos generales:

1. Determinación del número de lámparas necesarias para la desinfección.
2. Determinación de la configuración óptima del proceso: Número de lámparas por módulo, módulos por batería, baterías por canal, y número global de canales.

Los factores que afectan al número mínimo de lámparas UV necesarias son:

- El envejecimiento y la obstrucción de las características del ensamblaje de la lámpara UV y las fundas de cuarzo.
- Calidad de las aguas residuales y su variabilidad.
- Naturaleza de la descarga permitida y el nivel de confianza deseado en alcanzar ese objetivo.

Existen métodos no probabilísticos (determinísticos) y probabilísticos para determinar el número de lámparas requeridas.

5.5.3. Impacto ambiental de la desinfección UV

Debido a que la luz no es un agente químico, no se producen residuos tóxicos. Sin embargo, algunos compuestos químicos pueden ser alterados por la radiación ultravioleta, con la ventaja de que los compuestos formados son inofensivos o reducidos a formas más inofensivas.

Un análisis realizado a aguas recicladas, utilizando una dosis de 300 mWs/cm², demuestra que la formación de trihalometanos era nula y la

formación de formaldehídos era insignificante. Además tampoco se observó un aumento de la mutagenicidad del agua.

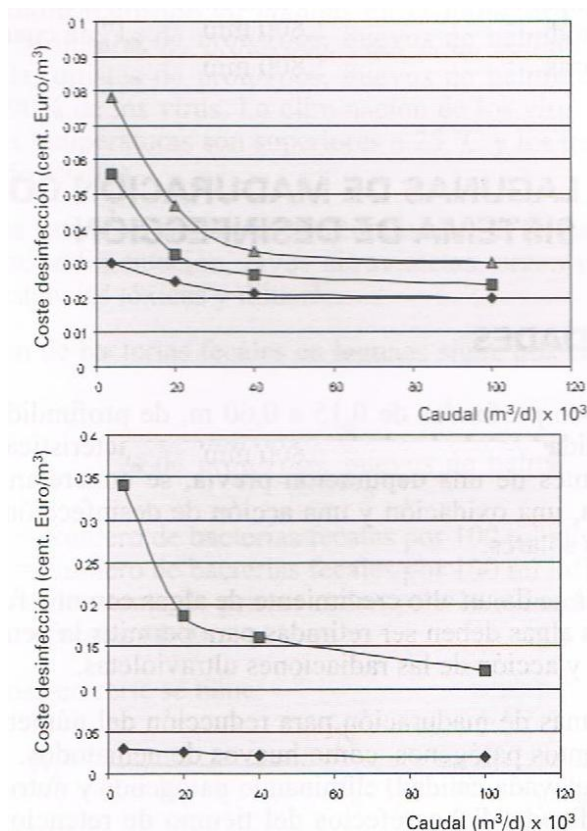
Por tanto, no se ha podido determinar un nivel medible de incremento de la toxicidad del agua atribuible a subproductos de la desinfección.

Por todo ello, hoy se considera que la desinfección UV no tiene impactos ambientales adversos, con lo cual hace de ella una tecnología altamente competitiva en la actualidad, debido al mínimo riesgo social que implica el uso de la misma.

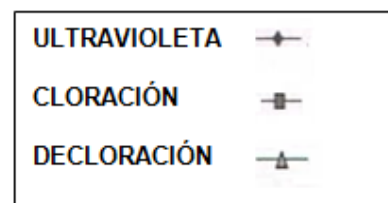
5.5.4. Coste de la radiación UV

Los gastos de inmovilizado inicial son muy variables dependiendo del tipo de instalación y del tamaño de la misma. Puede estimarse, para dosis de 40 mWs/cm^2 y caudales entre 6 y $100 \text{ m}^3/\text{h}$, unos gastos de amortización de $1,20$ a $2,25$ céntimos de euro.

Una comparación de los costos de desinfección se representa en las siguientes representaciones gráficas.



Comparación entre costos de desinfección



Aurelio Hernández Ed.2001

6. DESCRIPCIÓN DE LAS SOLUCIONES ADOPTADAS.

6.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

El afluente a tratar, con un caudal medio de 23,43 m³/h, desciende por gravedad desde las conducciones de una red de alcantarillado tipo separativa, y llega a la planta, acumulándose en la arqueta principal.

Este tipo de agua posee las siguientes características, que ha determinado en la elección de nuestro sistema de pretratamiento:

- Caudal medio bajo, ello da lugar a velocidades lineales, incluso a caudales punta de 42,19 m³/h muy bajas, no aconsejables para la construcción de un canal de entrada a la planta. Debido a que se producirían grandes cantidades de sedimentos, implicando labores de mantenimiento mayores y dificultades operativas.
- Cantidad de sólidos gruesos mínima, debido a las características de la red de alcantarillado.
- Concentración de grasas baja, debido a que el agua saneada proviene de núcleos residenciales, no existiendo comercios, industrias, que provocarían aumentos de concentración.
- Debido al caudal a tratar, se limita la construcción de una unidad de desarenado.

Con lo cual, la unidad de debaste estará constituida por:

- **Rejas:**

2 Rejas de barras automáticas, situadas en paralelo y colocadas en una arqueta de dimensiones 0,4x 0,4, con capacidad para tratar 25 m³/h, cada una.

La luz de malla es de 6 mm.

Con la duplicación de la línea se consigue, dejar una operativa cuando la otra este averiada o en ciclos de mantenimiento. Además se consigue tratar el agua en épocas estivales en la que tiene lugar un mayor consumo hídrico, sin que el exceso de caudal suponga un problema.

- **Tamiz:**

A continuación de las rejillas, pasando por una arqueta se coloca un tamiz de cilindro rotatorio, con una luz de malla de 0,25 mm, que actúa como desarenador, además de retener un buen porcentaje de grasas.

Es recomendable por ello, como se ha dicho anteriormente, mantener en perfectas condiciones la superficie del mismo, llevando a cabo limpiezas periódicas mediante agua a caliente a presión.

A continuación, el agua tamizada, libre de arenas, pasa a la cuba de aireación.

Las conexiones entre los equipos se harán a través de tuberías de acero inoxidable AISI – 316, con dimensiones determinadas.

- **Tratamiento secundario:**

Se dispone de un tanque circular, que se mantiene en condiciones de metabolismo aeróbico gracias a la función que ejerce una soplante de 20 kW, instalada en el centro de la cuba.

La cuba dispone de dos entradas, una entrada superior de agua a tratar, y una inferior, donde se introduce el caudal de recirculación, favoreciendo la mezcla en tal caso.

- **Decantador secundario:**

La mezcla agua tratada-fango pasa desde la cuba de aireación a la unidad de decantación, con un contenido en sólidos aproximadamente de 20 mg/l.

Se trata de un tanque circular con dimensiones menores al tanque de aireación en el cual la alimentación se introduce por el fondo.

Proporcionando un tiempo de residencia suficiente, el agua clarificada rebosa por los deflectores, es recogida en los vertederos, y llevada por medio de una tubería a la unidad de tratamiento terciario.

El fango se deposita en la poceta del decantador. Mediante la acción de una bomba adecuada para fangos, parte de este lodo se recircula a la cuba de aireación con el objeto de mantener la concentración de microorganismos en el interior del reactor, y otra fracción es evacuado para su posterior tratamiento y traslado.

- **Tratamiento terciario**

Constituido por una unidad de filtración, que se alimenta de una bomba que lleva instalado el equipo comercial.

Las características de esta unidad se detallan más adelante.

La unidad de desinfección la constituye un canal prefabricado, con sus correspondientes arquetas de seguridad de entrada y salida, en el que se sitúan 5 módulos con 4 lámparas de baja presión y baja intensidad, cada uno.

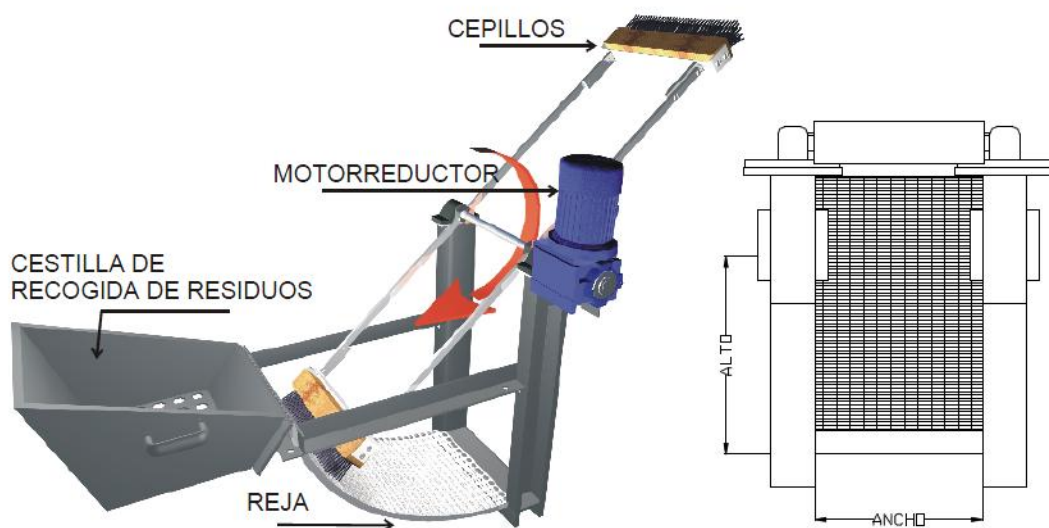
El equipo suministra una radiación monocromática efectiva para tratar un caudal de 50 m³/h.

6.1.1. Reja de gruesos y tamiz rotatorio

Dimensionado de la reja

La reja seleccionada, cuyo suministrador es *Totaagua*, se trata de un tamiz grueso de plato perforado que posee una luz de malla de 6 mm, y está diseñada para trabajar a un caudal de 25 m³/h, lo suficiente para tratar el caudal medio de entrada a la planta.

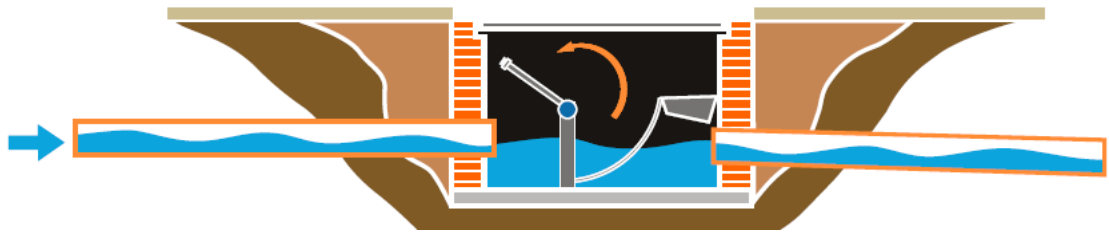
Sin embargo, en épocas de mayor demanda, donde el caudal aumenta a 42,19 m³/h esta reja no puede satisfacer nuestras necesidades, es por ello que se opta por duplicar la línea, instalando otra reja de las mismas características. Esta reja estará operativa sólo en épocas de mayor demanda, y también servirá en el caso de fallo, o mientras se realicen operaciones de limpieza o mantenimiento, suprimiendo por tanto, la reja de limpieza manual que sirve de emergencia en estos casos.



- Anchura del canal de la rejilla

Las dimensiones de las arquetas serán de 0,4 cm x 0,4 cm, y a ellas llegarán tuberías de diámetro DIN 125 mm.

El dibujo siguiente muestra a modo de ejemplo de lo que correspondería a nuestra instalación:



Dimensionado del tamiz

A una distancia de 3 metros, se sitúa un tamiz de rotatorio con luz de malla de 0.25 mm, suministrado por el mismo fabricante:

Las características de funcionamiento y ventajas principales se resumen a continuación:

- Es un filtro de alta capacidad con tamaño sustancialmente más pequeño que otros tamices utilizados para separación sólido-líquido.
- Disponen de un sistema sencillo autolimpiable, capaz de operar durante largos periodos de tiempo sin necesidad de atención.
- El tamiz rotatorio permite sustituir en muchos casos los desbastes, la eliminación de arenas gruesas y hasta porcentajes del 30% de grasas y sobrantes.
- En comparación con el tamiz estático, a una misma anchura, el tamiz rotativo proporciona cinco veces más de capacidad de filtrado, siendo prácticamente nulos los atascos por su característico efecto de limpieza.

Este tipo de tamices consta de los siguientes elementos:

- Cilindro filtrante:

Esta parte del tamiz rotatorio está ejecutado íntegramente en acero inoxidable AISI 304, en versión estándar. Este cilindro se construye con maquinaria especial, por enrollamiento helicoidal de un perfil de sección triangular sobre una serie de barras de soporte que siguen las líneas generatrices del cilindro. Todos y cada uno de los puntos de cruce entre el enrollado helicoidal y las barras de soporte van soldados, dando al conjunto una elevada rigidez y resistencia. La separación entre espiras o paso del enrollado helicoidal se regula durante su construcción a fin de obtener la luz de rendija deseada. Este conjunto retiene en la superficie exterior los sólidos de tamaño superior a la luz empleada e impide la formación de cúmulos en el interior.

- Cuerpo de filtro:

El cuerpo los tamices rotativos está construido íntegramente en acero inoxidable AISI 304, en su versión estándar. Son de fuerte construcción mecano-soldada y están provistos de caja de distribución del líquido a filtrar con sus conexiones de entrada, depósito receptor del líquido filtrado con su salida, base de anclaje y elementos de estanqueidad.

- Caja de distribución:

Tiene la misión de repartir el líquido sucio a lo largo del cilindro en corriente de flujo laminar, la entrada se realiza mediante una o dos bridas normalizadas según el modelo de tamiz rotativo.

- Rasqueta limpiadora:

Está fijada sobre una chapa articulada que se ajusta perfectamente a la superficie del cilindro filtrante por medio de unos tensores montados en sus extremos, asegurando así la limpieza de toda la superficie del cilindro del tamiz rotativo.

- *Grupo de accionamiento:*

Esta parte del tamiz rotativo se realiza mediante el moto-reductor de tornillo sinfín ampliamente dimensionado, fijado en voladizo sobre una mangueta solidaria del tambor filtrante y provisto de brazo de reacción amarrado a la pared lateral de la máquina mediante un sistema elástico, proporcionando a éste su movimiento de rotación.

- *Depósito receptor del líquido filtrado:*

Se sitúa debajo del cuerpo de filtro recogiendo el líquido filtrado que es evacuado a través de una tubuladura embridada.

- *Tubo de lavado del cilindro:*

Situado en el interior del tambor filtrante, provisto de toberas que proyectan agua a presión sobre la cara interior del cilindro efectuando una completa limpieza.

Los modelos existentes, para luz de malla determinadas, y capacidades expresadas en m³/h, se resumen en la tabla siguiente:

		LUZ DE PASO DE LA RENDIJA EN MM								
		0,15	0,25	0,50	0,75	1	1,50	2	2,50	3
MODELOS TAMIZ ROTATIVO	AMN 2450	8	12	20	25	30	40	47	52	55
	AMN 4050	19	30	50	71	77	98	113	125	135
	AMN 4080	31	49	86	115	124	158	183	202	217
	AMN 4100	44	58	100	138	148	188	220	240	260
	AMN 6050	33	51	90	120	130	166	192	212	228
	AMN 6100	47	107	188	251	271	345	400	442	475
	AMN 6150	104	163	286	382	413	525	608	672	722
	AMN 6200	139	219	384	513	554	705	817	902	970
	AMN 9150	151	237	415	554	599	762	883	975	1.048
	AMN 9200	202	318	557	744	804	1.023	1.185	1.309	1.407
	AMN 9250	254	399	699	934	1.009	1.284	1.487	1.643	1.217
	AMN 9300	303	477	836	1.116	1.206	1.535	1.777	1.963	2.110
	AMN 12300	362	575	1.024	1.386	1.473	1.910	2.244	2.507	2.719
AMN 12400	471	747	1.332	1.802	1.914	2.484	2.917	3.259	3.534	

Como se puede observar, el modelo **AMN 6050**, para una luz de malla de 0,25 mm, es el que satisface nuestras necesidades de caudal.

Las características según el modelo, se indican en la tabla siguiente:

MODELO	DIÁMETRO CILINDRO MM	LONGITUD CILINDRO MM	POTENCIA MOTOR KW.	PESO VACÍO KG	ANCHO TOTAL MM	FONDO TOTAL MM	ALTO TOTAL MM	BRIDA ENTRADA MM	BRIDA SALIDA MM
AMN 2450	240	490	0,18	80	700	600	480	100	100
AMN 4050	400	490	0,25	110	720	815	725	150	200
AMN 4080	400	790	0,25	160	1.020	815	725	200	250
AMN 4100	400	960	0,25	190	1.220	815	725	200	250
AMN 6050	630	460	0,55	260	831	1.269	970	200	250
AMN 6100	630	960	0,55	300	1.331	1.269	970	250	300
AMN 6150	630	1.460	0,75	340	1.831	1.269	970	300	350
AMN 6200	630	1.960	0,75	400	2.331	1.269	970	350	400
AMN 9150	915	1.460	1,00	1.100	1.900	1.623	1.255	400	500
AMN 9200	915	1.960	1,00	1.250	2.400	1.623	1.255	500	600
AMN 9250	915	2.460	1,50	1.400	2.900	1.623	1.255	2x350	Libre
AMN 9300	915	2.960	1,50	1.550	3.400	1.623	1.255	2x400	Libre
AMN 12300	1.200	2.940	2,20	2.650	3.235	2.250	1.926	2x600	Libre
AMN 12400	1.200	3.940	2,20	2.650	4.500	2.250	1.926	2x750	Libre

Para el caso que nos ocupa, las dimensiones serán las que se indican en la tabla, trabajando a un caudal máximo de 42,19 m³/h.

6.1.2. Equipo de filtración

Analizando todas las ventajas e inconvenientes expresadas en la descripción teórica, se ha optado por la elección de un filtro de lavado ascendente con retrolavado continuo por los siguientes motivos:

- Se reduce el grado de mantenimiento.
- Facilidad de operación.
- Las pérdidas de carga son menores.
- Necesidad de un agua totalmente clara, con concentraciones inferiores a 15 ppm, para garantizar la eficacia del posterior proceso de desinfección por UV.
- La posibilidad de instalación de un equipo comercial que se adapte al caudal de agua a procesar, siendo este a caudal medio 23,43 m³/h y a caudal máximo 42,19 m³/h.

Se ha seleccionado un filtro de arena con sistema de lavado en continuo del catálogo de productos de Edasan.

Como ya se ha indicado, la filtración con sistema de lavado ininterrumpido supone un gran avance tecnológico en cuanto que garantiza la cantidad y calidad continua del filtrado, sin necesidad de ningún tipo de interrupción en el proceso.

FILTRO EDASAN:

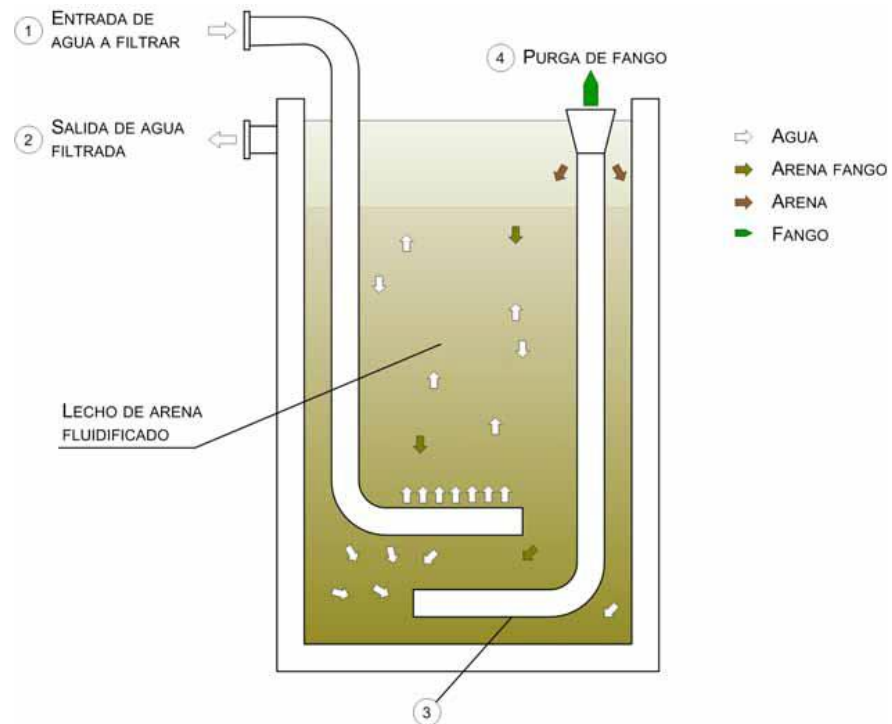
- Descripción del proceso:

El proceso de funcionamiento está basado en un lecho fluidificado con dos flujos enfrentados.

En la figura se representa el mecanismo de funcionamiento del sistema que se aplica en los filtros con sistema de lavado ininterrumpido.

El filtro consiste en un lecho de arena silíceo, con granulometría ajustada a cada caso. El agua se conduce a la parte inferior del lecho y se reparte de forma homogénea por la superficie del mismo. En estas condiciones el agua asciende a través del lecho de arena, mientras que los sólidos que llegan van quedando retenidos. Una vez atravesado el lecho, el agua ya libre de los sólidos es evacuada como efluente filtrado.

Simultáneamente a la circulación del agua y en sentido contrario, desde el fondo del filtro una bomba succiona la arena del lecho filtrante. Esta arena arrastra con ella los sólidos, fango, separados de las aguas. La mezcla arena-fango extraída llega a una unidad en la cual, por diferencia de densidad y descenso de velocidad debido a un ensanchamiento de la sección, la arena y el fango se separan. La arena retorna, ya libre de fango, sobre la parte superior del lecho de arena, mientras que el fango es evacuado al exterior como purga de lavado.



Con los flujos enfrentados, ascendentes del agua y descendentes de la arena-fango, el lecho se encuentra fluidificado.

Características destacables del proceso:

Son varias las características destacables del proceso, que además presentan serias ventajas respecto a los sistemas empleados en la filtración convencional.

- El proceso consiste en un filtro abierto de funcionamiento por gravedad, y por lo tanto más sencillo de explotar que los sistemas a presión.

- El paso de agua, filtración, y la evacuación de agua y fango, lavado del lecho, se realiza simultáneamente, por lo que no es necesario independizar los tiempos de operación de uno y otro, con las consiguientes paradas y arranques características de la filtración convencional. Así se ofrece un servicio ininterrumpido.

La fluidificación del lecho, al disponer de los flujos enfrentados evita los problemas de compactación del lecho.

- La simultaneidad de filtración y lavado impide la colmatación del lecho con fango retenido. En estas condiciones la pérdida de carga es constante por lo que el caudal a filtrar es constante, al no estar condicionada por la colmatación como en los filtros convencionales.

- La arena limpia, libre de fango, se retorna a la parte superior del lecho, repartida por toda la superficie por lo que el lavado de arena no ocasiona pérdida de lecho filtrante.

- El agua filtrada pasa siempre, en su recorrido por el lecho de arena, de una zona con fango retenido a una zona de arena totalmente limpia, por el aporte constante de arena lavada, por lo que la calidad del agua filtrada se mantiene constante.

- Al contar con un lecho de arena en continuo proceso de limpieza, la carga en sólidos del afluente no está tan limitada para garantizar un buen funcionamiento como en el caso de los filtros convencionales, pudiendo prescindir, en la mayor parte de los casos, de cualquier decantación previa.

- La dosificación de reactivos para la floculación, en la mayoría de los casos, se realiza directamente en tubería, debido que el recorrido por el lecho y la buena fluidificación del mismo garantiza una buena mezcla de los reactivos y retención de los agregados formados.

- En la filtración en general, y la filtración con sistema de lavado ininterrumpido en particular, el tamaño mínimo de las partículas para su retención es menor que en la decantación. En la filtración con sistema de lavado ininterrumpido estas partículas pueden ser aún menores que en la filtración convencional gracias a los numerosos choques de estas con el medio filtrante a causa de la fluidificación del lecho.

- Especialmente destacable es el hecho de que en los filtros con sistema de lavado ininterrumpido, el tiempo de contacto del fango con el agua es mínimo gracias al sistema de lavado ininterrumpido del lecho. De este modo se reduce al mínimo la transferencia de olores, sabores, o microorganismos del fango al agua filtrada.

La simplicidad del proceso se refleja en la simplicidad del equipo que destaca especialmente en los siguientes puntos:

- Se suprimen las válvulas, bombas, tanques de almacenamiento, etc, que los filtros convencionales requieren para el sistema de lavado contracorriente, lo que simplifica la instalación, el montaje, reduce los consumos energéticos y las tareas de explotación y mantenimiento.

- El filtro de lavado con sistema de lavado ininterrumpido funciona con un mecanismo que succiona la arena-fango en el lavado. Este mecanismo con un compresor de aire, es el único equipo mecánico necesario en el proceso.

- El consumo energético se reduce al del compresor de aire para la bomba de emulsión, con lo que es realmente bajo.

- La implantación de una instalación de filtración con sistema de lavado ininterrumpido requiere de menor superficie que cualquier otro sistema por el diseño de las unidades de filtración y por la reducción de equipos y elementos necesarios.

- Dada la sencillez de la instalación, que prescinde de operaciones de lavado discontinuas, y al reducido número de equipos, la dedicación de personal es mínima para las tareas de explotación y mantenimiento. Por tanto, el coste de personal es muy reducido.

Características destacables de la ejecución e implantación:

El sistema de filtración con sistema de lavado ininterrumpido presenta distintas posibilidades para su ejecución:

- Unidades de filtración de distintas dimensiones, superficies de filtración y granulometría del lecho según la calidad y cantidad de agua a filtrar.

- Unidades de filtración integradas en módulos prefabricados, realizados en Acero Inoxidable o en PRFV. Estos módulos pueden alojar distinto número de unidades de filtración de sección circular, y según el caso incluso la caseta de control y reactivos.

- Los elementos internos de la unidad de filtración están, en todos los casos, realizados en acero inoxidable AISI-316, variando únicamente la carcasa de la misma. Este hecho garantiza la calidad y alarga vida del elemento.

- En la ejecución en Acero Inoxidable AISI 316 o en PRFV la calidad de los materiales está garantizada así como la durabilidad de las mismas, con un acabado de alta calidad.

- Los módulos compuestos por varias unidades de filtración, permiten el funcionamiento selectivo de todas o parte de dichas unidades según variaciones en las condiciones del afluente a tratar. En estos casos se puede ajustar el consumo de reactivos y funcionamiento del compresor a las distintas condiciones.

En cuanto a su implantación y las posibilidades, según los modos de ejecución son:

- Los módulos de filtración, pueden colocarse en la superficie del terreno, semienterrado o enterrado, sobre una solera de cemento armado,

con o sin caseta incluida según el caso. Posibilitan ampliaciones sucesivas de la instalación mediante la incorporación de nuevos módulos. Los módulos pueden ser colocados en el interior de edificios o la intemperie.

- En el caso de implantación de un número elevado de unidades de filtración, por ejemplo por encima de 15, puede ser rentable alojar dichas unidades dentro de tanques realizados en obra civil.

En todos los casos las unidades de filtración pueden ser colocadas en el interior o exterior de edificios.

1. Máxima disponibilidad. La filtración convencional en superficie funciona de forma discontinua, en ciclos, así cuando el filtro está colmatado, se debe regenerar mediante lavado. En este caso, el proceso de lavado es a contracorriente y en continuo, nunca debe detenerse para proceder al lavado ya que, simultáneamente al proceso de filtración, la arena sucia se limpia en el lavador de arena y los sólidos en suspensión son eliminados con el agua de lavado.

2. Garantía de servicio ininterrumpido. Se prescinde de periodos de parada por el lavado, puesto que éste tiene lugar en paralelo con el proceso de filtrado, garantizando un servicio ininterrumpido.

3. Capacidad constante de filtración. En un filtro de superficie, las aguas de entrada a la filtración deben estar bastante limpias, ya que se colmatan los filtros. En este filtro, la arena se limpia continuamente, por lo que la capacidad de filtración no disminuye con el tiempo de funcionamiento ya que se impide la colmatación gracias a la casi fluidificación del lecho.

4. Funcionamiento simple y fiable. El filtro funciona de forma simple y fiable, sin necesidad de tanques, ni bombas, ni válvulas automáticas para los procesos de lavado que son imprescindibles en los filtros convencionales.

Por ello evita la necesidad de aceites, grasas y disminuye el coste de las reparaciones. El compresor instalado no necesita engrase.

5. Bajo consumo energético. El equipo no tiene piezas móviles y el consumo energético es bajo, limitado al consumo de aire exigido para operar el sistema de lavado de arena ininterrumpido. También, la disminución del consumo energético se debe a que actúa como decantador y como filtro, simultáneamente.

6. Bajo consumo de reactivos. El consumo de agentes químicos es pequeño, y en muchos casos innecesarios, ya que el tamaño de partículas requerido para la sedimentación convencional es mucho más grande que las exigidas para la separación a través de filtración. El tamaño del floculo exigido para la filtración es más pequeño que el exigido para la clarificación. Todo ello hace que las dosis de reactivo sean de un 20 ó 30 % menos.

7. Eliminación del almacenamiento del agua de lavado. La operación de lavado ininterrumpido elimina la necesidad de almacenamiento del agua limpia o del agua de lavado consumida y de sistemas de control en el lavado a contracorriente.

8. Pérdida de carga estabilizada. Cuando el caudal de arena en el filtro es suficiente, la pérdida de carga se estabiliza, así mantienen una operación de pérdida de carga constante, contrariamente al filtro convencional, en el cual la pérdida es ascendente, hasta el punto crítico en el que hay que proceder al lavado del mismo.

9. Menor riesgo de transferencia de bacterias. El corto tiempo de contacto entre el agua tratada y el fango separado, disminuye el riesgo de disolución de sustancias desde el fango, que le dan mal sabor y olor al agua, así como el riesgo de transferencia de bacterias.

10. Reducido espacio necesario. La simplificación de los equipos necesarios lleva a la reducción del espacio preciso para ubicar el filtro, requiriendo sólo

el 30% de la superficie exigida en las plantas convencionales, por tanto se reduce el capital a invertir por disminución de espacio y componentes.

11. Reducido coste de personal de mantenimiento. Por ser las operaciones de explotación y mantenimiento sencillas y escasas, el personal necesario para llevarlo a cabo es mucho menor que otro tipo de filtro convencional.

12. Imposibilidad de zonas colmatadas y caminos preferenciales. La existencia de dos flujos enfrentados, descendente para la arena y ascendente para el agua, propicia una buena movilidad del lecho. Esto evita los problemas de compactación y colmatación de los filtros convencionales, que conllevaría una reducción de la capacidad de filtración debido al descenso de velocidad en el paso del agua.

13. Garantía de la calidad del efluente. En todo momento se garantiza la obtención de un efluente tratado en volumen y calidad exigidos.

14. Garantía del tiempo de vida útil. El buen acabado y alta calidad de los materiales, da garantía de una larga vida y un mantenimiento del equipo en perfectas condiciones.

15. Alta fiabilidad. Gracias a la tecnología y calidad de los equipos, la instalación cuenta con una alta fiabilidad en el funcionamiento y una respuesta sobresaliente a las demandas de abastecimiento.

16. Sencillez de operación. El perfecto acabado y alta calidad de los equipos dan lugar a instalaciones sencillas, limpias y con garantías de eficacia.

A continuación se puede observar una tabla con las diferentes unidades existentes, adaptadas según las necesidades de caudal.

MODELOS	DIMENSIONES		AREA (m ²)	CONEXIONES			ARENA Peso (Tn)	CAP. (m ³ /h)
	DIÁMETRO (m)	H (m)		E (mm) DN	S (mm) DN	P (mm) DN		
EDASAND® - 001	1,20	4,70	1,13	80	80	50	5,5	9-13
EDASAND® - 002	1,50	5,60	1,77	100	100	60	7,5	14-21
EDASAND® - 003	2,00	5,90	3,14	150	125	60	12	22-37
EDASAND® - 004	2,50	6,00	4,90	200	200	60	20	38-59
EDASAND® - 005	3,00	6,80	7,06	250	250	80	33	60-84
EDASAND® - 006	3,50	7,20	9,62	250	250	80	45	85-115

OPCIONES DE SUMINISTRO (MATERIAL DE FABRICACIÓN DE LOS MÓDULOS DE FILTRACIÓN) EDASAND® 01 / 02 / 03 / 04 / 05 / 06		
MATERIALES DE FABRICACIÓN	NÚCLEO	RECIPIENTE
ACERO INOXIDABLE	AISI 316 L	AISI 316
PRFV	AISI 316 L	PRFV
Cuando se apliquen los filtros EDASAND® a aguas residuales, se fabricaran completamente en AISI 304		

Para los caudales de agua a tratar, seleccionaremos el módulo EDASAND-003, asegurando que se cumplen los requerimientos de diseño, con los datos característicos de la unidad.

6.1.3. Equipo de desinfección UV

De los datos obtenidos de la bibliografía, se obtiene que la exposición para la inactivación bacteriana debe ser de 30.000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2\text{s}$ con ondas de 2537Å.

Las lámparas tubulares tienen longitudes entre 0,30 y 1,20 m. El consumo energético está próximo a los siguientes valores:

Longitud de la lámpara (m)	Potencia consumida (W)	Salida (W) Long onda 2537Å.
0.30	8	1.3
0.45	18	5.8
0.90	39	14.6
1.20	110	51.5

Aurelio Hernández Ed.2001

Las condiciones a establecer en una instalación de desinfección por rayos ultravioletas son:

- Adoptar una exposición entre los 16.000-30.000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2\text{s}$, con longitud de onda 2537Å.
- Distancia máxima de la corriente de agua a las lámparas de 7,5 cm.
- El equipo debe garantizar la limpieza automática de los tubos.
- Debe darse un tiempo superior a dos minutos para que se alcance la temperatura adecuada.
- Debe automatizarse la limitación del caudal a tratar.
- La cámara del reactor UV debe ser hecha de materiales que ni transmitan UV ni se corroan.

Los sistemas Trojan UV3000 constituyen equipos de gran aplicación y con grandes avances en la tecnología de desinfección UV, cumpliendo con los requisitos anteriores y presentando grandes ventajas.

Constituyen un armazón en acero inoxidable 316 perfectamente sumergible que mantiene las lámparas y camisas de cristal de cuarzo en su sitio dentro del canal del efluente. Los módulos irán colocados en su hueco, en los canales respectivos, de forma simple sin requerir un montaje. Además dicho armazón actúa como barrera de luz, impidiendo cualquier escape de energía fuera del canal.

La disposición de las lámparas será la siguiente:

Los caudales a tratar y las potencias requeridas en un sistema Trojan UV 3000PTP son:

Modelo n°	Capacidad hidráulica m³/día	Potencia media Necesaria (W)
3025K-PTP	94	87,5
3050K-PTP	189	175
3075K-PTP	283	262,5
3100K-PTP	378	350
3150K-PTP	565	525
3200K-PTP	755	700
3250K-PTP	944	875

Por tanto, de acuerdo a las necesidades de caudal, se elige un sistema Trojan 3250K-PTP, que estará situado en un canal prefabricado con vertederos de entrada y salida de agua.

Estos sistemas presentan las siguientes ventajas:

TrojanUV3000™PTP es idealmente adecuado para tratar caudales hasta 441,6 m³/h.

- Módulos UV independientes y avanzados

Ahorro de espacio, las reactancias electrónicas están alojadas directamente en los módulos, no en armarios externos separados. Esto minimiza la superficie en planta requerida del sistema UV y elimina la necesidad de aire acondicionado. En efecto las reactancias son refrigeradas por convección, por tanto se reducen los costes de operación y mantenimiento. Cada módulo incorpora un indicador del estado de las lámparas UV para confirmación visual rápida de que todas las lámparas están operando.

- Funcionamiento, componentes y diseño probados

El sistema TrojanUV3000™PTP ha sido validado a través de bioensayos refrendados por el regulador en más de 1000 instalaciones en todo el mundo. Los datos de rendimiento están obtenidos de los ensayos en campo reales (bioensayos de validación) para varios caudales, calidad del efluente y UVTs – proporcionado garantías del diseño del sistema. Este sistema modular es escalable y se puede instalar en el exterior para reducir los costes de instalación.

- Configuración de la instalación altamente flexible.

Posee canales prediseñados de acero inoxidable con vertedero interior, que se instalan como una estructura autosoportada. Los canales de acero inoxidable se integran fácilmente con las tuberías bridadas existentes utilizando las cajas de transición altamente adaptables de Trojan.

Las especificaciones técnicas del sistema elegido son:

Características del sistema

- Aplicaciones típicas : Hasta 3 MGD (473,2 m³/h).
- Tipo de lámpara : Baja presión.
- Tipo de reactancia : Electrónica; no variable.
- Potencia de entrada por lámpara : 45 u 87,5 Vatios.
- Configuración de la lámpara: Horizontal, paralela al flujo.
- Configuración del módulo: 2 a 4 lámparas por módulo.
- Configuración del banco : Hasta 10 módulos por banco.

Configuraciones del canal

- Bancos de lámparas en serie: Hasta 2.
- Opciones de canal
 - Acero inoxidable (opción de Trojan).
 - Hormigón (por otros).
- Opciones de dispositivo de control de nivel: Vertedero fijo.

Clasificación de los paneles

- Monitor del Sistema /Centro de control: Fibra de vidrio (3R)
- Recinto de la reactancia: Tipo 6P (IP67)
- Método de refrigeración de la reactancia: Convección; no se necesita aire acondicionado o aire forzado.
- Localización de la instalación: Interior o exterior.

Sistema de Monitorización & Control

- Controlador : Solo supervisión.
- Monitorización de la intensidad UV: Opcional.
- Indicación de estado local
 - Edad de las lámparas (horas).
 - Intensidad UV (m W/cm²).
 - Estado de los bancos (encendido/apagado).

- Alarma de baja intensidad.
- Alarma de fallo de lámpara.
- Alarmas remotas
- Intensidad UV (4 – 20 mA)
- Alarma común (discreta)

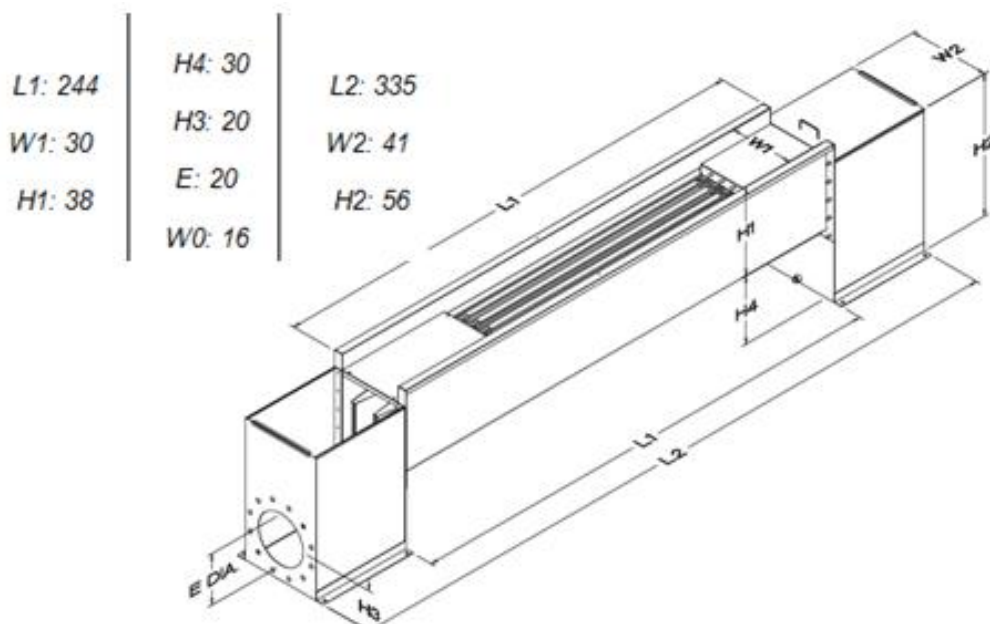
Necesidades eléctricas

- Distribución de potencia : Receptáculos individuales con interruptor sin conexión a tierra (GFI).
- Cantidad necesaria : 1 Receptáculo cada 2 módulos.
- Entrada de potencia : 120V, una fase.

Conociendo las especificaciones, optaremos por un canal prefabricado suministrado con las siguientes características de diseño:

Dado que necesitamos una potencia de 944 W, se instalarán 5 módulos con capacidad de cuatro lámparas cada una, según recomendaciones del fabricante.

La unidad tendrá unas dimensiones (cm):



6.2. DIMENSIONADO DE LA PLANTA

ARQUETA PRINCIPAL

Dimensiones (mm): 4000 x 5000 x 2000.

REJAS (2)

Dimensiones (mm) de la arqueta de reja: 400 x 400 Superficie interior.

Potencia 0,2 KW.

Se instalarán dos válvulas de compuerta de acero inoxidable DIN 125 para impedir la entrada de agua a una u otra reja.

TAMIZ

Dimensiones (mm) 630 x 460.

Potencia: 0,55 KW.

ARQUETA SECUNDARIA ANTES TAMIZ

Dimensiones (mm): 3000 x 3000 x 1000.

TANQUE BIOLÓGICO

Volumen (m³) = 512,7 m³.

Diámetro: 14,75 m.

Profundidad: 3 m.

Se instalará una soplante de 20 kW de potencia.

DECANTADOR SECUNDARIO

Volumen (m³) = 102,63 m³.

Diámetro: 16,6 m.

Profundidad: 3,1 m.

FILTRO DE ARENA

Diámetro: 2 m.

Altura: 5,90 m.

Potencia 1,8 KW.

EQUIPO ULTRAVIOLETA

Ancho canal (mm): 400.

Longitud (mm): 3350.

Potencia 944W.

ARQUETA DE AGUA TRATADA

Dimensiones (mm): 4000 x 5000 x 2000.

7. EXPLOTACIÓN Y MANTENIMIENTO

Desde el punto de vista industrial, una EDAR es una instalación en la que el agua residual urbana es convenientemente tratada mediante una serie de procesos que permiten devolverla al medio con unos parámetros fisicoquímicos y microbiológicos adecuados.

Si extrapolamos la idea anterior y le damos un enfoque industrial, tendríamos que una EDAR es una planta industrial en la que se procesa agua residual y se produce agua depurada, siguiendo una serie de procesos en serie.

Por tanto, las plantas industriales llamadas EDAR, podemos caracterizarlas por:

- Materia prima principal: Agua residual urbana
- Calidad de la materia prima: Puede llegar a fluctuar en el tiempo
- Volumen de materia prima a tratar: Variable a lo largo del día y a lo largo del año.
- Otras materias primas utilizadas: Energía eléctrica, reactivos químicos, y aire.
- Producto principal: Agua depurada
- Calidad del producto: Parámetros de calidad de salida impuesto por ley.
- Subproductos: Lodos y residuos sólidos.
- Tipo de proceso productivo: En continuo, 24 horas al día, 365 días al año
- Interrumpibilidad: Nula, la planta nunca puede parar mientras llegue agua residual por la red de colectores/alcantarillado
- Necesidades de mano de obra: Bajas
- Nivel de complejidad del proceso productivo: Bajo
- Dificultad de explotación: Media – alta. Al intervenir procesos de tipo biológico, la explotación puede llegar a complicarse.

La mayor parte de los equipos e instalaciones que aparecen en las EDAR son comunes a otros tipos de plantas industriales y su mantenimiento es análogo al de otras plantas.

Sin embargo, hay una serie de equipos, que serían específicos para plantas de tratamiento de aguas. Dichos equipos, podríamos clasificarlos a su vez en dos tipologías:

- Equipos que no tienen un mantenimiento que pueda ser distinto a otros equipos electromecánicos (motor de accionamiento, sistema de transmisión y órganos móviles) o instalaciones que, aún siendo específicas para tratamiento de aguas, no presentan complicación respecto al mantenimiento.
- Equipos/instalaciones tan específicas que es el fabricante de las mismas el que especifica y describe en sus manuales las tareas de mantenimiento a realizar, o incluso, el fabricante ofrece servicios de mantenimiento dentro del marco de contratos de llave en mano más mantenimiento.

Podemos decir que una EDAR es una planta industrial que trabaja los 365 días del año, que no es diferente a otras plantas industriales en cuanto a instalaciones y equipos, teniendo una componente muy importante la obra civil de la planta. Por tanto, su mantenimiento se gestiona y realiza de la misma manera que en las demás plantas.

Sin embargo, hay ciertos aspectos propios de las EDAR que hacen que haya que matizar la teoría y práctica general del mantenimiento. Pasamos a comentar dichos aspectos:

1. Una EDAR, tanto a efectos de construcción como a efectos de mantenimiento, tiene dos aspectos o vertientes: la parte de obra civil y la parte de equipos. El mantenimiento de la parte de obra civil es mínimo.

2. Las técnicas de mantenimiento predictivo son poco utilizadas en las EDAR, salvo para plantas muy grandes y equipos muy costosos.

En las EDAR de tamaño pequeño y mediano, hoy por hoy resulta imposible.

3. Respecto al enfoque general del mantenimiento, dado que las EDAR no pueden dejar de funcionar en ningún momento, el tipo de mantenimiento que se usa con profusión en las EDAR es el mantenimiento preventivo.

Considerar que una EDAR es una fábrica en la que continuamente está entrando materia prima, pero además, con la particularidad de que dicha materia prima no se puede rechazar, aunque la calidad de la misma sea muy mala.

Por tanto, dadas las características de la planta diseñada, los tipos de mantenimiento aplicables serán:

Mantenimiento correctivo:

Dirigido a llevar a cabo la reparación de averías que se presentan. Una buena práctica es llevar un registro de fallos y un análisis de los mismos, con el fin de tener un historial en el caso que se produjera el problema nuevamente.

Mantenimiento preventivo

Se trata de una serie de actividades repetitivas, que se definen como actividades diarias, semanales, mensuales o anuales, que persiguen prevenir o detectar fallos repetitivos antes de que se produzcan.

Es a este último al que se le debe prestar mayor atención, y es objeto de estudio en este caso.

Mantenimiento preventivo:

Una buena gestión en cuanto al mantenimiento preventivo garantizará el correcto funcionamiento de las unidades, intrínsecamente unido a una máxima rentabilidad.

Además, prolonga la vida útil de los equipos, y evita las pérdidas y complicaciones que supondrían las paradas no programadas por averías en la planta.

La elaboración de un manual de mantenimiento implica:

- Establecer pautas de trabajos frente posibles averías.
- Estudiar y prever averías mediante revisiones o libros de registro.
- Especificar las normas de manipulación y buen funcionamiento de los equipos.

Los objetivos que se persiguen con un buen sistema de gestión de mantenimiento serán:

- Limitar el envejecimiento del material debido a su funcionamiento.
- Mejorar el estado del material, para su eficaz funcionamiento.
- Intervenir antes de que el coste de reparación sea demasiado elevado.
- Asegurar el buen estado de los servicios generales de agua, electricidad, etc.
- Permitir la ejecución de las reparaciones en las mejores condiciones.
- Evitar los consumos exagerados
- Suprimir las causas de accidentes.
- Minimizar los costos, mientras la depuradora permanezca en activo.

En todo este sistema, es de fundamental importancia el reconocimiento del papel clave que el operador puede jugar en la práctica del mantenimiento preventivo. Es obvio que el operador es el primero en percibir signos de daños, ya sean ruidos u otra clase de anomalías en el equipo. Por este

motivo el operador se encuentra en una situación que le permite tomar medidas preventivas con el objeto de evitar daños graves que de otro modo se presentarían inevitablemente. Es de importancia que los operadores adquieran buenos hábitos de operación del equipo que manejan, esto ayudará a disminuir el desgaste del equipo y el consumo de energía.

A continuación se describe el programa de mantenimiento general y específico a tener en cuenta:

- ***Mantenimiento general***

- Revisar el estado de las obras de construcción, tanque de lodos y decantador, arquetas, y reparar en caso necesario.
- Localizar los puntos de corrosión en las estructuras metálicas, tuberías y conexiones, y pintar con pintura anticorrosiva para evitar el deterioro del material.
- Revisar los circuitos y cuadros eléctricos.
- Análisis y control de vibraciones y ruidos, que pueden ser indicio de fallos en equipos de bombeo.

- ***Mantenimiento específico***

Mantenimiento de la rejilla

La rejilla frena siempre la velocidad del paso del agua, lo que provoca con frecuencia la formación de depósitos de arenas arriba de la rejilla.

Se recomienda vigilar el estado de las mismas regularmente, para evitar problemas por acumulación de sólidos.

- Limpiar todas las semanas con agua a presión.

- Asegurarse que la placa perforada para escurrimiento se mantenga limpia y libre de sólidos.
- Para evitar los malos olores producidos por los restos de material secado de la rejilla, aplicar óxido de calcio hidratado.
- Revisar la rejilla cada mes, y si se encuentran puntos de corrosión, limpiar y pintarla con pintura anticorrosiva.

Mantenimiento del tamiz

A pesar de disponer de un tamiz rotatorio eficaz, que dispone de un sistema autolimpiable, es aconsejable realizar revisiones diarias, como en el caso de las rejillas.

- Semanalmente, se revisará el grado de ensuciamiento, y si es necesario, se realizará un lavado a presión con agua caliente.
- Llevar a cabo las recomendaciones del proveedor.

Mantenimiento del decantador

Un buen funcionamiento del decantador se basa en la producción de un agua clara, con el mínimo de sólidos. Trabajar en esas condiciones implica llevar a cabo los siguientes trabajos:

- Se deberán mantener todas las superficies libres de acumulaciones de espumas o grasas que hayan quedado adheridas a las paredes del vertedero o al eje de rasquetas.
- Eliminar los sólidos presentes en la superficie del vertedero.

Mantenimiento del filtro

El filtro elegido, al igual que todos los equipos instalados funcionan autónomamente. Este dispone de un mecanismo de lavado en continuo, por tanto, las operaciones de mantenimiento a realizar serán mínimas.

Será aconsejable realizar trimestralmente un lavado de arenas utilizando agua limpia y caliente, para impedir el desarrollo de los microorganismos.

Mantenimiento del equipo UV

La eficacia del sistema de desinfección se basa fundamentalmente en la capacidad de transmitancia que posee el agua. Para lograr esta premisa, es necesario que las lámparas estén limpias, es decir, es importante evitar las deposiciones de partículas sobre las mismas.

Por tanto,

Se aconseja llevar a cabo una revisión semanal de las mismas, y proceder a su limpieza, si es necesario.

Realizar revisiones periódicas según indique el fabricante.

Mantenimiento de bombas

Un sistema de bombeo no se mantiene sólo. La frecuencia de mantenimiento no es la misma para todas las bombas, sino que varía con las condiciones del servicio. Una bomba que maneje líquidos limpios, no corrosivos, requiere mucho menos mantenimiento que una bomba del mismo tamaño y tipo que tenga que manejar líquidos corrosivos o arenisca.

Por tanto, una inspección periódica resulta económica en comparación con las apagadas forzosas debidas a daños o fallas de las diferentes partes de la bomba. Las inspecciones de la bomba deben hacerse bimestral o anualmente, según la clase de servicio. Cuanto más pesado sea el servicio,

más frecuentemente debe ser la inspección. La inspección debe ser completa y debe incluir:

- Comprobación de los elementos de giro, que se desplazan libremente y sin ruidos anormales.
- Comprobación del eje de impulsión.
- Comprobación del estado de los cojinetes de acoplamiento y reemplazar, si el desgaste es excesivo.
- Engrase de cojinetes y rodamientos y llevar a cabo un registro
- Comprobación del panel del cuadro eléctrico.
- Comprobación de la temperatura y de las vibraciones de los motores.
- Comprobación del ajuste de la bomba y el motor.
- Comprobación de los niveles de aceite, y registrar los cambios realizados.

8. ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD. EVALUACIÓN DE RIESGOS.

Para finalizar, se llevará a cabo la evaluación de riesgos de nuestras instalaciones, que seguirá el siguiente índice.

Generalmente, un estudio de riesgos comprende el siguiente índice. No se ha contemplado el apartado 1, ya que se hará una evaluación inicial.

1. DATOS GENERALES

- 1.1. Datos de las instalaciones.
- 1.2. Personal que colabora en la evaluación de riesgos.
- 1.3. Fecha de evaluación/revisión.

2. OBJETO DEL INFORME

3. BREVE DESCRIPCIÓN DEL CENTRO DE TRABAJO

4. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES y FUNCIONES A REALIZAR POR PUESTO DE TRABAJO

5. SISTEMÁTICA Y METODOLOGÍA DE LA EVALUACIÓN

- 5.1. Metodología de evaluación.
- 5.3. Criterios de referencia.
- 5.4. Criterios de valoración general.

6. PLANIFICACIÓN DE LAS MEDIDAS PREVENTIVAS

7. REVISIÓN DE LA EVALUACIÓN

8. EVALUACIÓN DE RIESGOS PARA LOS PUESTOS DE TRABAJO

2. OBJETO DEL INFORME

Según el *Artículo 16 de la Ley 31/1995*, de 8 de noviembre, de *Prevención de Riesgos Laborales*, dispone que todas las Empresas han de realizar, con carácter inicial, una evaluación de los riesgos, a la vez que obliga a llevar a cabo evaluaciones periódicas y revisiones específicas. Así mismo, se deberá planificar y desarrollar la acción preventiva en la empresa.

El objeto de este informe es llevar a cabo una evaluación de riesgos y una planificación de la prevención, mediante la aplicación de un método basado en la NTP-330 del INSHT.

La aplicación de este Método permite realizar conjuntamente una evaluación de riesgos para cada puesto de trabajo y una planificación de las medidas preventivas a realizar.

3. BREVE DESCRIPCIÓN DEL CENTRO DE TRABAJO

Se llevará a cabo una evaluación de riesgos en la EDAR, además del sistema de saneamiento y de distribución hacia el depósito del campo de golf.

4. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES, PUESTO DE TRABAJO Y SUS FUNCIONES

Los puestos de trabajo que se contemplarán en el presente informe se describen en los siguientes puntos:

– ADMINISTRACIÓN

Descripción del puesto de trabajo:

Se realizan las funciones propias de gestión técnico-administrativa, documentación, archivo, relaciones con clientes, relaciones con la Administración, gestión de personal...

El puesto de trabajo es desempeñado por el Jefe de Planta.

Máquinas y equipos a utilizar:

El material básico que se utiliza es la PVD, con todos sus periféricos, y accesorios tipo oficina.

Equipos de protección individual:

Aquellos que se deriven de alguna tarea especial relacionada con visita a las instalaciones (casco, gafas, calzado, guantes,...).

– **OPERARIO DE SANEAMIENTO**

Descripción del puesto de trabajo:

Trabajos de mantenimiento y limpieza de la red de alcantarillado y de pluviales: limpieza de imbornales, limpieza de pozos de registro de bombeo y redes, sustitución de tapas y rejillas, realización de acometidas, reparación de roturas en la red de alcantarillado, etc.

Máquinas y equipos a utilizar:

Camión de saneamiento ó equipo a presión (máquina de alcantarillado), lanzas rompedoras, picos, palas, cazoletas, herramientas manuales de albañilería. Para el acceso a los pozos escalera manual en algunos casos y equipo de detección de gases, trípode y anticaídas.

Equipos de protección individual:

Vestuario de trabajo compuesto de ropa de trabajo y prendas para el agua y el frío (uso de prendas reflectantes); mono desechable tipo buzo; botas de seguridad (tipo S2) y bota de agua con puntera metálica.

En función de los riesgos a cubrir: casco de seguridad; protección auditiva; pantalla facial de protección contra impactos y salpicaduras; protección respiratoria (máscara con filtro para partículas, gases y vapores, equipo de respiración autónoma ó semi-autónoma); guantes contra riesgo mecánico y riesgo biológico; elementos antivibratorios; cinturones de sujeción ó arnés de seguridad.

– **OPERARIO EDAR**

Descripción del puesto de trabajo:

Se realizan tareas de explotación y conservación general de la planta. Estas tareas requieren: el accionamiento de válvulas, bombas y motores, control de niveles de equipos, toma de lecturas, etc..., teniendo en ocasiones que acceder a balsas, arquetas y decantadores para realizar tareas de limpieza.

Limpieza y baldeo general.

Conservación general de pintura, pequeñas obras de albañilería, jardinería, etc.

Máquinas y equipos a utilizar:

Equipos de elevación de cargas para el manejo de equipos. Equipos de limpieza a presión. Medidor de niveles. Material y herramientas de albañilería: picos, palas, rastrillos, planas, etc.

Herramientas estándar: llaves, destornilladores, martillos, etc.

Detectores de gases. Trípodes de descenso.

Equipos de protección individual:

Vestuario de trabajo compuesto por: ropa de trabajo y prendas para el agua y el frío.

En función de los riesgos a cubrir: casco de seguridad; botas de seguridad (tipo S2) y bota de agua con puntera metálica; protección auditiva; protección ocular (gafas de protección contra impactos y pantalla facial contra proyecciones y salpicaduras); protección respiratoria (mascarilla autofiltrante o máscara con filtro para partículas, y máscara con filtro para gases y vapores; equipo de respiración autónomo ó semiautónomo); guantes contra riesgo mecánico, guantes contra riesgo biológico y guantes contra químico, arnés anticaída.

– **ELECTROMECAÁNICO EDAR**

Descripción del puesto de trabajo:

Trabajos de mantenimiento eléctrico y mecánico de todos los equipos electromecánicos de las plantas depuradoras y de las arquetas de bombeo como motores, bombas, cuadros eléctricos, automatismos de control, etc. Las reparaciones se realizan in situ o en el taller. En ocasiones se realizan soldaduras y otras tareas típicas de mecanización de materiales.

Máquinas y equipos a utilizar:

Equipos de elevación y transporte de cargas, máquinas y herramientas de taller, equipo de soldadura, herramientas manuales y específicas para trabajos eléctricos, etc. Como equipos auxiliares se utilizan escaleras manuales o andamios.

Para los desplazamientos por las instalaciones se utiliza vehículo de empresa tipo furgoneta.

Equipos de protección individual:

Vestimenta de trabajo compuesta de: ropa de trabajo y prendas para el agua y el frío.

En función de los riesgos a cubrir:

Protección auditiva (tapones/orejeras); casco de seguridad; protección ocular (pantalla facial contra impactos, gafas de seguridad); protección respiratoria (mascarilla autofiltrante para partículas y máscara con filtro para gases y vapores); equipo de respiración autónomo ó semi-autónomo; guantes contra riesgos mecánicos, guantes contra riesgos químicos y biológicos y guantes dieléctricos; bota de seguridad clase S2 o bota de protección clase P2; buzo antiácido; arnés de seguridad; dispositivos tipo anticaída.

– **OPERARIO LABORATORIO EDAR**

Descripción del puesto de trabajo:

Realizan ensayos en laboratorio para determinar los parámetros de calidad de aguas. Para el análisis de las muestras de agua potable, agua

residual y fangos obtenidos, tienen en ocasiones que realizar la toma de muestras en balsas y acceder a partes elevadas de depósitos e instalaciones.

En ocasiones, controlan el correcto desarrollo de las distintas etapas de depuración, analizando las características del agua de entrada y salida.

Máquinas y equipos a utilizar:

Equipos para los análisis: cromatógrafo de gases, espectrofotómetro de absorción atómica, phmetro, balanza, aparatos de electroanálisis, microscopios, agitadores...etc.

Material de vidrio o de porcelana (crisoles, cápsulas,...), pipetas automáticas,..etc.

Para el análisis se utilizan todo tipo de reactivos de laboratorio.

Equipos de protección individual:

Bata; guantes contra riesgo químico, contra riesgo biológico y guantes térmicos; protección ocular (gafas o pantalla contra riesgo de impacto o salpicadura); protección respiratoria (mascarilla autofiltrante para partículas y máscaras con filtro para gases y vapores).

5. SISTEMÁTICA Y METODOLOGÍA DE LA EVALUACIÓN

5.1. METODOLOGÍA DE LA EVALUACIÓN

El procedimiento de evaluación y planificación se ha llevado a cabo siguiendo el siguiente procedimiento:

“Identificación de Riesgos” (Anexo B)

“Evaluación de Riesgos” (Anexo C)

El formato **“Identificación de riesgos”**, tiene por objeto identificar para cada uno de los puestos de trabajo de la actividad los posibles riesgos

asociados que pudieran existir. Para ello se utilizan los Códigos de Identificación de Riesgos incluidos como Anexo A de este documento.

El formato “**Evaluación de Riesgos**”, consta de dos apartados diferenciados. En el primero se valoran los riesgos identificados en el MER/V.02/01 para cada puesto de trabajo y en el segundo se realiza la planificación de las medidas preventivas.

La evaluación de riesgos se completa con los datos obtenidos de las “Listas para el Control de las Condiciones de Trabajo y de las Instalaciones” efectuadas en cada centro de trabajo y la planificación de las medidas correctoras que de ellas se deriven.

En aquellos puestos de trabajo que pudieran ser ocupados por trabajadores especialmente sensibles: disminuidos físicos, psíquicos o sensoriales, mujeres en periodo de maternidad o lactancia y/o menores de 18 años se tendrá en cuenta, para la no adscripción de estos trabajadores a dicho puesto, los datos facilitados por el Servicio Médico dentro de las funciones de Vigilancia de la Salud.

Asimismo se consultará con el Servicio Médico de la empresa, los posibles problemas que aparezcan en el proceso de Evaluación de Riesgos, de puestos ocupados por personal especialmente sensible.

5.2. CRITERIOS DE REFERENCIA

En el apartado de criterios de referencia del formato MER/V.02/02 se indica la legislación aplicada para la identificación de cada tipo de riesgo de acuerdo con la siguiente codificación:

Disposiciones Generales

1 Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.

2 Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención.

Real Decreto 604/2006, de 19 de mayo, por el que se modifica el Reglamento de los Servicios de Prevención.

R.D. 1627/97 Disposiciones mínimas en las obras de obras de construcción.

3 Real Decreto 1/1995, de 24 de marzo, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley del Estatuto de los Trabajadores.

4 Real Decreto Legislativo 1/1994, de 20 de junio, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley General de la Seguridad Social.

5 Real Decreto 486/1997, de 14 de Abril, Disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.

II Agentes biológicos

1 Real Decreto 664/1997, de 12 de Mayo, sobre protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos durante el trabajo.

III Aparatos a presión

1 Real Decreto 2060/2008, de 12 de Diciembre, por el que se aprueba el reglamento de aparatos a presión y sus instrucciones técnicas.

IV Electricidad

1 Real Decreto 614/2001, de 8 de Junio, sobre disposiciones mínimas de seguridad para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico.

2 Real Decreto 842/2002 de 2 de Agosto, Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión.

V Enfermedades profesionales

1 Real Decreto 1299/2006, de 10 de noviembre, por el que se aprueba el cuadro de enfermedades profesionales en el sistema de la Seguridad Social y criterios para notificación y registro.

VI Equipos de trabajo

1 Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.

Real Decreto 2177/2004, de 12 de noviembre, en materia de trabajos temporales en altura.

2 Real Decreto 488/1997, de 14 de Abril sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas al trabajo con equipos que incluyen pantallas de visualización.

VII Incendios

1 Real Decreto 1942/1993, de 5 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones de Protección Contra Incendios.

2 Real Decreto 2177/96, de 4 de Octubre de 1966, por el que se aprueba la Norma Básica de Edificación "NBE-CPI-96".

VIII Manipulación manual de cargas

1 Real Decreto 487/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la manipulación manual de cargas que entrañe riesgos, en particular dorsolumbares, para los trabajadores.

IX Máquinas

1 Real Decreto 1435/1992, de 27 de noviembre, por el que se dictan las disposiciones de aplicación de la Directiva del Consejo 89/392/CEE, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre máquinas.

2 Real Decreto 56/1995, de 20 de enero, por el que se modifica el Real Decreto 1435/1992.

X Protecciones personales

1 Real Decreto 1407/1992, de 20 de noviembre, que regula las condiciones para la comercialización y libre circulación intracomunitaria de los equipos de protección individual.

Real Decreto 159/1995, de 3 de febrero que modifica al Real Decreto 1407/1992.

Orden 20 de Febrero de 1997 por la que se modifica el anexo del Real Decreto 159/1995.

2 Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.

XI Productos químicos

1 Real Decreto 379/2001, de 6 de Abril, por el que se aprueba el Reglamento de Almacenamiento de productos químicos y sus instrucciones técnicas complementarias.

2 Real Decreto 363/1995, de 10 de Marzo de 1995 por el que se regula la Notificación de sustancias nuevas y clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas.

Real Decreto de 28 de febrero, por el que se aprueba el Reglamento sobre clasificación, envasado y etiquetado de preparados peligrosos.

3 Real Decreto 374/2001 de 6 de Abril sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo.

5 Real Decreto 396/2006 de 31 de marzo, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud aplicables a los trabajos con riesgo de exposición al amianto.

6 Real Decreto 665/1997, de 12 de Mayo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos durante el trabajo.

XII Ruido

1 Real Decreto 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la seguridad y salud de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido.

XIII Señalización

1 Real Decreto 485/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.

XIV Vibraciones

Real Decreto 1311/2005, de 4 de noviembre, sobre la protección de la seguridad y salud de los trabajadores frente a los riesgos derivados o que puedan derivarse de la exposición a las vibraciones mecánicas.

5.3 VALORACIÓN GENERAL

Para estimar la valoración del riesgo se estimará la probabilidad de que ocurra y, teniendo en cuenta la magnitud esperada de las consecuencias, evaluar el riesgo asociado a cada una de dichas deficiencias.

En esta metodología no emplearemos los valores reales absolutos de riesgo, probabilidad y consecuencias, sino sus "niveles" en una escala con varias posibilidades. Así, existirá el nivel de probabilidad (NP), el nivel de consecuencia (NC) y el nivel de riesgo (NR).

A su vez el nivel de probabilidad, es función del nivel de deficiencia (ND) y del nivel de exposición (NE) a la misma.

El nivel de riesgo (NR) será por su parte función del nivel de probabilidad (NP) y del nivel de consecuencias (NC) y puede expresarse como:

$$NR = NP \times NC$$

donde, $NP = ND \times NE$

La manera de proceder para obtener la valoración del riesgo será:

1. Estimación del nivel de deficiencia para el riesgo considerado (cuadro 1).
2. Estimación del nivel de exposición (cuadro 2).
3. Estimación del nivel de probabilidad a partir del nivel de deficiencia y del nivel de exposición (cuadro 3).
4. Estimación del nivel de consecuencia (cuadro 4)

5. Estimación del nivel de riesgo a partir del nivel de probabilidad y del nivel de consecuencias (cuadro 5).

6. Establecimiento de los niveles de intervención (cuadro 5) considerando los resultados obtenidos y su justificación socio-económica.

7. Contraste de los resultados obtenidos con los estimados a partir de fuentes de información precisas y de la experiencia.

Nivel de Deficiencia	ND	Significado
Muy deficiente(MD)	10	Se han detectado factores de riesgos significativos que determinan como muy posible la generación de fallos. El conjunto de medidas preventivas existentes respecto al riesgo resulta ineficaz.
Deficiente (D)	6	Se ha detectado algún factor de riesgo significativo que precisa ser corregido. La eficacia del conjunto de medidas preventivas existentes se ve reducida de forma apreciable.
Mejorable (M)	2	Se ha detectado algún factor de riesgo de menor importancia. La eficacia del conjunto de medidas preventivas existentes respecto al riesgo no se ve reducida de forma apreciable.
Aceptable (A)	1	No se ha detectado anomalía destacable alguna. El riesgo está controlado, pero en cualquier caso se incluirán en el Plan de Inspección para seguir controlando su eficacia.

Cuadro 1. Nivel de deficiencias.

Nivel de exposición	NE	Significado
Continuada (EC)	4	Continuamente. Varias veces en su jornada laboral con exposición prolongada.
Frecuente (EF)	3	Varias veces en su jornada laboral, aunque sea con tiempos cortos.
Ocasional (EO)	2	Alguna vez en su jornada laboral y período corto de tiempo.
Esporádica (EE)	1	Irregularmente.

Cuadro 2. Nivel de Exposición

Nivel de probabilidad	NP	Significado
Muy alta (MA)	Entre 40 y 24	Situación deficiente con exposición continuada, o muy deficiente con exposición frecuente. Normalmente la materialización del riesgo ocurre con frecuencia.
Alta (A)	Entre 20 y 10	Situación deficiente con exposición frecuente u ocasional, o bien situación muy deficiente con exposición ocasional o esporádica. La materialización del riesgo es posible que suceda varias veces en ciclo de vida laboral.
Media (M)	Entre 8 y 6	Situación deficiente con exposición esporádica, o bien situación mejorable con exposición continuada o frecuente. Es posible que suceda el daño alguna vez.
Baja (B)	Entre 4 y 2	Situación mejorable con exposición ocasional o esporádica. No es esperable que se materialice el riesgo, aunque puede ser concebible.

Cuadro 3. Nivel de Probabilidad

Consecuencia	NC	Significado
Mortal o catastrófico (M)	Entre 100 y 60	1 muerto o más.
Muy Grave (MG)	Entre 60 y 25	Lesiones graves que pueden ser irreparables.
Grave (G)	Entre 25 y 10	Lesiones con incapacidad laboral transitoria
Leve (L)	Entre 10 y 0	Pequeñas lesiones que no requieren hospitalización

Cuadro 4. Nivel de Consecuencia.

Intervención	NR	Significado
I	$4000 > NR > 600$	Situación crítica. Corregir urgente.
II	$600 \geq NR > 150$	Corregir y adoptar medidas de control.
III	$150 \geq NR > 30$	Mejorar si es posible. Sería conveniente justificar la intervención y su rentabilidad.
IV	$NR \leq 30$	No intervenir, salvo que un análisis más preciso lo justifique.

Cuadro 5. Nivel de Riesgo y de Intervención.

6. PLANIFICACIÓN DE LAS MEDIDAS PREVENTIVAS

Una vez valorado el riesgo del puesto de trabajo, la prioridad para llevar a cabo las medidas preventivas propuestas en la evaluación, se establecerá de acuerdo al cuadro 5.

La severidad se determinará mediante la tabla siguiente:

SEVERIDAD: Consecuencia normalmente esperada de la materialización del riesgo.	
ALTA	Lesión muy grave o mortal: Amputaciones, fracturas mayores, intoxicaciones, lesiones múltiples, cáncer, enfermedades crónicas y muerte.
MEDIA	Lesión grave: Laceraciones, quemaduras, conmociones, fracturas menores, sordera, dermatitis, asma.
BAJA	Lesión leve: contusiones, erosiones, cortes superficiales, irritaciones, dolor de cabeza, lumbalgia.

Y por tanto, una vez determinada la probabilidad y severidad del riesgo asociado al lugar, su priorización se realizará mediante la siguiente:

		PROBABILIDAD		
		BAJA	MEDIA	ALTA
SEVERIDAD	BAJA	Más 12 meses	6-12 meses	3-6 meses
	MEDIA	6-12 meses	3-6 meses	1 mes
	ALTA	3-6 meses	1 mes	INMEDIATA

7. CONTROL PERIÓDICO PARA EL CUMPLIMIENTO DE LAS MEDIDAS ADOPTADAS PARA DISMINUIR Y ELIMINAR EL RIESGO.

Dichos controles periódicos se realizarán siempre que como consecuencia de obtener un *Valor del Riesgo* entre 4000 y 150, el nivel de intervención obtenido salga I ó II.

El control periódico se establecerá en el plan de Inspección del contrato correspondiente y será como mínimo de forma semanal.

En el caso de que el nivel de intervención sea I ó II se deberá trasladar al documento de "Planificación de la Prevención".

En los casos en los que la medida preventiva sea la utilización de Equipos de Protección Individual o el uso adecuado de Equipos de Trabajo dicho control periódico se incluirá siempre en los planes de Inspección, independientemente del valor del riesgo.

8. REVISION DE LA EVALUACION

A partir de la Evaluación de Riesgos se realizará una **REVISIÓN** de la evaluación cuando se dé alguna de las siguientes circunstancias establecidas en el artículo 4 del R.D. 39/1997, de 17 de enero:

A partir de dicha evaluación inicial, deberán volver a evaluarse los puestos de trabajo que puedan verse afectados por:

a) La elección de equipos de trabajo, sustancias o preparados químicos, la introducción de nuevas tecnologías o la modificación en el acondicionamiento de los lugares de trabajo.

b) El cambio en las condiciones de trabajo.

c) La incorporación de un trabajador cuyas características personales o estado biológico conocido lo hagan especialmente sensible a las condiciones del puesto.

Cuando se establezcan plazos para realizar mediciones periódicas de la exposición en los puestos de trabajos, derivados de la legislación existente, o porque se consideren oportunos en función de las circunstancias, se procederá a la realización de las mismas en los plazos establecidos.

Si como resultado de estas mediciones se comprueba que han cambiado las condiciones de trabajo, se reflejará este hecho en la Ficha de Medición correspondiente, indicando la nueva valoración del riesgo, si procede, y explicando que en la próxima revisión de la evaluación deberá actualizarse el riesgo con el nuevo valor obtenido en el último informe.

Asimismo se comprobará si es necesaria la revisión de la Evaluación de Riesgos cuando, en el apartado 6 “Evaluación de Riesgos” del informe de Comunicación e Investigación de accidentes se indique, de acuerdo con los criterios establecidos.

8. EVALUACIÓN DE RIESGOS PARA LOS PUESTOS DE TRABAJO

Se evaluarán los puestos de trabajo para los puestos de electromecánico y operario. Dadas las necesidades de nuestra planta, que requiere de pocas labores de mantenimiento y reparación, el personal contratado será polivalente en las actividades de ambos puestos.

8.1. OPERARIO DE EDAR

RIESGOS DEL PUESTO	CAUSAS	MEDIDAS PREVENTIVAS
Caídas a distinto nivel	Trabajos de limpieza y control en la inmediaciones de balsas de decantación o pozos o acceso a partes elevadas de instalaciones.	<p>Uso de arnés de seguridad anclado a un punto fijo y seguro en lugares carentes de protección perimetral adecuada.</p> <p>Uso adecuado de equipos como escaleras manuales y andamios tubulares o de borriquetas.</p> <p>Mantener tapados pozos y registros.</p> <p>Para acceder a la limpieza del canal de cloración se debe de anclar a un punto fijo y seguro mediante arnés de Seguridad.</p>
Caídas al mismo nivel	Zonas de paso con obstáculos o deslizantes por acumulación de agua y/o productos resbaladizos.	<p>Mantenimiento de orden y limpieza.</p> <p>Extremar la limpieza en zonas donde se pueda acumular agua.</p> <p>Utilizar calzado de seguridad con características antideslizantes.</p>

Caída de objetos en manipulación	Utilización de equipos de elevación para manejo de equipos o manipulación manual.	Adoptar sistemas de enganche y eslingado seguro. Uso de guantes para evitar resbalamientos.
Caída de objetos desprendidos	Caída de objetos u herramientas en trabajos a distinto nivel.	Uso de casco de seguridad en trabajos en los que haya trabajadores en dos niveles.
Golpes/cortes por objetos o herramientas	Manejo de herramientas y objetos cortantes, abrasivos, punzantes, etc...	Uso de guantes contra riesgos mecánicos. Uso de la herramienta adecuada para cada tarea. No adoptar posturas forzadas.
Proyección de fragmentos o partículas	Uso de herramientas de corte, percusión, corte abrasivo o esmerilado. Salpicaduras de agua residual y fango.	Uso de protección visual mediante gafas o pantallas faciales en tareas con riesgo de proyección de partículas y fragmentos (jardinería, albañilería, baldeo, etc...). Antes de manipular una conducción se deberá despresurizar la misma.
Atrapamientos por o entre objetos	Máquinas. Tapas de arquetas	Respetar los resguardos y protecciones de las máquinas, no manipular una máquina o equipo en funcionamiento. Usar útiles adecuados para el levantamiento de tapas de arquetas, guantes contra riesgos mecánicos y calzado de seguridad.
Sobreesfuerzos	Manejo de sacos, piezas pesadas, malas posturas,...	Formación acerca del manejo manual de cargas. Disponer de los equipos de elevación necesarios.
Contactos térmicos	Contacto con partes calientes de equipos.	Uso de guantes térmicos en la manipulación de superficies calientes o tareas como soldadura.

Contactos eléctricos	Manipulación de cuadros eléctricos de mando de equipos de la planta.	No realizar tareas de mantenimiento en cuadros eléctricos u otros equipos si no se está cualificado para ello. Si es necesario, utilizar equipos de protección individual con características aislantes: guantes, calzado.
Exposición a sustancias nocivas o tóxicas	Gases procedentes de las aguas residuales.	Formación e información. Cumplir las instrucciones de trabajo para espacios confinados. Uso de los equipos de protección individual necesarios.
Exposición a radiaciones	Soldadura eléctrica	EPI: Uso de pantalla de soldadura con filtro para radiaciones adecuado, guantes contra riesgo térmico y delantal.
Incendios	Productos inflamables	Almacenar en lugar adecuado los productos inflamables.
Exposición a sulfhídrico	Continuada exposición a gas en la planta.	EPI: Uso de protección respiratoria. Cumplir el Procedimiento de Seguridad para trabajos en ambientes confinados.
Ahogamientos	Caída a balsas o decantadores, etc...	EPI: uso de arnés de seguridad anticaídas anclado a un punto fijo y seguro en aquellos lugares donde no exista protección perimetral. Uso de chaleco salvavidas si es necesario.
Contaminantes biológicos	Exposición y contacto con agua residual urbana.	EPI: uso de guantes contra riesgos

		biológicos. Cumplir el Procedimiento de Seguridad para trabajos con riesgo biológico. Higiene personal.
Exposición al ruido	Existencia de equipos de trabajo muy ruidosos.	Uso de protección auditiva [tapones/orejeras] en aquellos lugares donde sea obligatorio.

8.2. ELECTROMECAÁNICO EDAR

RIESGOS DEL PUESTO	CAUSAS	MEDIDAS PREVENTIVAS
Caídas a distinto nivel	Realización de trabajos en altura. Trabajos en el entorno de balsas y pozos.	Uso de arnés de seguridad anclado a un punto fijo y seguro en lugares carentes de protección perimetral adecuada. Uso adecuado de equipos como escaleras manuales y andamios tubulares o de borriquetas. Mantener tapados pozos y registros. Se deberá colocar barreras que impidan la caída al interior de las cámaras una vez que se abren la tapaderas, en aquellos casos en los que no existe punto fijo y seguro para anclarse con el arnés de seguridad.
Caídas al mismo nivel	Zonas de paso con obstáculos o deslizantes por acumulación de agua y/o productos resbaladizos.	Mantenimiento de orden y limpieza. Extremar la limpieza en zonas donde se pueda acumular agua. Utilizar calzado de seguridad con características antideslizantes.
Caída de objetos en manipulación	Utilización de equipos de elevación para manejo de equipos o manipulación manual.	Adoptar sistemas de enganche y eslingado seguro. Uso de guantes para evitar resbalamientos.
Caída de objetos desprendidos	Caída de objetos u herramientas en trabajos a distinto nivel.	Uso de casco de seguridad en trabajos en los que haya trabajadores en dos niveles.
Golpes/cortes por objetos o herramientas	Manejo de herramientas y objetos cortantes, abrasivos, punzantes, etc...	Uso de guantes contra riesgos mecánicos. Uso de la herramienta adecuada para

		cada tarea. No adoptar posturas forzadas.
Golpes/Choques contra objetos inmóviles	Reparaciones y mantenimiento en zonas estrechas.	Uso de casco si el techo del lugar fuera bajo. Sacar al exterior el equipo a reparar si no se dispone de suficiente espacio
Proyección de fragmentos o partículas	Uso de herramientas de corte, percusión, corte abrasivo o esmerilado. Salpicaduras de agua residual y fango.	Uso de protección visual mediante gafas o pantallas faciales en tareas con riesgo de proyección de partículas y fragmentos (jardinería, albañilería, baldeo, etc...). Antes de manipular una conducción se deberá despresurizar la misma. No retirar el resguardo o dispositivos de seguridad a las máquinas fijas.
Atrapamientos por o entre objetos	Reparación de máquinas y motores con partes móviles accesibles. Falta de protección de las partes móviles de la máquina.	No eliminar los resguardos o dispositivos de seguridad de una máquina. Si fuera necesario quitar los resguardos durante la reparación, no manipular la máquina en movimiento o si no la máquina se moverá a velocidad muy lenta o golpe a golpe y con mando de puesta en marcha sensitivo. Se bloqueará el posible accionamiento por terceros. Señalización: se indicará "Personas trabajando, no conectar"
Sobreesfuerzos	Manejo de sacos, piezas pesadas, malas posturas,...	Formación acerca del manejo manual de cargas. Disponer de los equipos de elevación necesarios.
Contactos térmicos	Salpicaduras de material incandescente procedentes de soldadura. Contacto con partes calientes de equipos.	Uso de guantes térmicos en la manipulación de superficies calientes o tareas como soldadura.

Contactos eléctricos	Reparación y manipulación de cuadros eléctricos de mando de equipos de la planta.	Cumplir con el Procedimiento de Seguridad para trabajos eléctricos en baja tensión. EPI: Uso de equipos de protección y herramientas y aislantes
Exposición a sustancias nocivas o tóxicas	Gases procedentes de las aguas residuales.	Formación e información. Cumplir las instrucciones de trabajo para espacios confinados. Uso de los equipos de protección individual necesarios.
Exposición a radiaciones	Soldadura eléctrica	EPI: Uso de pantalla de soldadura con filtro para radiaciones adecuado, guantes contra riesgo térmico y delantal.
Incendios	Productos inflamables	Almacenar en lugar adecuado los productos inflamables.
Exposición a sulfhídrico	Continuada exposición a gas en la planta.	EPI: Uso de protección respiratoria. Cumplir el Procedimiento de Seguridad para trabajos en ambientes confinados.
Ahogamientos	Caída a balsas o decantadores, etc...	EPI: uso de arnés de seguridad anticaídas anclado a un punto fijo y seguro en aquellos lugares donde no exista protección perimetral. Uso de chaleco salvavidas si es necesario.
Contaminantes biológicos	Exposición y contacto con agua residual urbana.	EPI: uso de guantes contra riesgos biológicos. Cumplir el Procedimiento de Seguridad para trabajos con riesgo biológico. Higiene personal.
Exposición al ruido	Existencia de equipos de trabajo muy ruidosos.	Uso de protección auditiva [tapones/orejeras] en aquellos lugares donde sea obligatorio.

8.4. OBLIGACIÓN DE LOS TRABAJADORES

Los trabajadores tienen derecho a una protección eficaz en materia de seguridad y salud. Esto supone un deber del empresario de protección frente a los riesgos laborales.

Complementándose a esto, y como así indica el Art. 29 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, corresponde a cada trabajador velar, según sus posibilidades, y mediante el cumplimiento de las medidas de prevención que en cada caso sean adoptadas, por su propia seguridad y salud en el trabajo y por la de aquellas personas a las que pueda afectar su actividad profesional, a causa de sus actos y omisiones en el trabajo, de conformidad con su formación y las instrucciones del empresario.

El cumplimiento de las medidas de prevención y teniendo en cuenta su formación, esto supone que el trabajador:

- Use adecuadamente todos los equipos de trabajo: maquinas, aparatos, herramientas, sustancias peligrosas y equipos de transporte y otros medios que se utilicen para el desarrollo de la tarea.
- Utilice correctamente los medios y equipos de protección (EPIs) facilitados por el empresario.
- Utilizar correctamente los medios y equipos de protección facilitados por el empresario, de acuerdo con las instrucciones recibidas de este.
- No poner fuera de funcionamiento y utilizar correctamente los dispositivos de seguridad existentes o que se instalen en los medios relacionados con su actividad o en los lugares de trabajo en los que esta tenga lugar.
- Informar de inmediato a su superior jerárquico directo, acerca de cualquier situación que, a su juicio, entrañe, por motivos razonables, un riesgo para la seguridad y la salud de los trabajadores.
- Contribuir al cumplimiento de las obligaciones establecidas por la autoridad competente con el fin de proteger la seguridad y la salud de los trabajadores en el trabajo.
- Cooperar con el empresario para que este pueda garantizar unas condiciones de trabajo que sean seguras y no entrañen riesgos para la seguridad y la salud de los trabajadores.

El incumplimiento por los trabajadores de las obligaciones en materia de prevención de riesgos a que se refieren los apartados anteriores tendrá la consideración de incumplimiento laboral a los efectos previstos en el artículo 58.1 del estatuto de los trabajadores.

8.5. RECOMENDACIONES E INSTRUCCIONES OPERATIVAS

- Recomendaciones

Riesgo eléctrico

Manejo de herramientas

Manipulación mecánica de cargas

Manipulación manual de cargas

Máquinas (Sólo para el electromecánico)

- Instrucciones operativas

Trabajos eléctricos en baja tensión

Trabajos en espacios confinados

Trabajos con exposición a agentes biológicos

8.5.1. Trabajos eléctricos en baja tensión

Procedimiento de seguridad para aquellas reparaciones y operaciones que impliquen trabajar en contacto o proximidad a la corriente eléctrica.

El objetivo primordial será trabajar sin tensión, cumpliendo con los pasos previos todas las medidas preventivas para evitar graves consecuencias de los accidentes eléctricos, por contacto directo (con partes activas de la instalación) o indirectos (con masas puestas accidentalmente bajo tensión).

Para ello debemos adoptar las siguientes medidas preventivas:

1º. Previo a la realización del trabajo debemos comprobar que llevamos todo el equipo de protección personal necesario; así como los equipos de trabajo o material de seguridad más adecuado.

2º. Utilizar los siguientes equipos de protección personal y equipos de trabajo:

<i>EPI's</i>	<i>EQUIPOS DE TRABAJO</i>
Ropa de trabajo	Comprobador de tensión
Calzado de seguridad	Herramientas aislantes homologadas
Guantes dieléctrico	Alfombrillas o banquetas aislantes
Pantallas de protección ocular	Lámparas portátiles
Contra impactos y arco eléctrico	Material de señalización

3º. Previamente a iniciar el trabajo de una instalación eléctrica o equipo hay que identificar la avería o elemento a reparar. Una vez detectado se procederá de la siguiente forma:

a) Desconexión de la corriente. Será aislada la parte en que se vaya a trabajar de cualquier posible alimentación, mediante la apertura de los aparatos de seccionamiento [Aparatos de seccionamiento serán de corte visible] más próximos a la zona de trabajo.

b) Será bloqueado en posición de apertura, si es posible, cada uno de los aparatos de seccionamiento citados, colocando en su mando un *letrero* con la prohibición de maniobrarlo. (" no conectar" o similar).

Este letrero debe ser de material aislante con una zona donde pueda figurar el nombre del operario que realiza el trabajo

c) Separar físicamente con elementos aislantes las líneas cercanas en tensión.

4º. Se comprobará mediante un *verificador* la ausencia de tensión en cada una de las partes eléctricamente separadas de la instalación (fases, ambos extremos de los fusibles,...).

5º. a) No quitar los dispositivos de seccionamiento y la señalización de seguridad hasta que se haya terminado completamente el trabajo [Esta debe ser retirada por el propio trabajador].

b) Antes de restablecer el servicio, comprobar que no existe peligro alguno.

6º. Evitar la manipulación de instalaciones con manos mojadas o provistas de anillos, relojes y pulseras metálicas.

7º. En caso de tener pelo largo, recogerse el pelo para evitar el contacto con partes en tensión.

8.5.2. Trabajos en espacios confinados

Procedimiento:

Procedimiento de seguridad para aquellos trabajos que impliquen trabajar en ambientes confinados con la presencia de gases tóxicos y/o explosivos.

1º.- Antes de acceder a un espacio confinado será imprescindible **detectar la posible presencia de gases** como: metano, gas sulfhídrico, monóxido de carbono y oxígeno.

Estas mediciones se realizarán desde una zona segura.

– Si se detecta gas, airear la zona o área de trabajo hasta bajar las concentraciones a niveles inofensivos. **Volver a medir.**

→ Si ha sido posible bajar la concentración de gases, utilizar máscaras con filtro para gases y vapores.

→ Si no es posible bajar la concentración, y fuera indispensable el acceso a dicho espacio, utilizar los equipos de respiración autónomos o semiautónomos de aire.

→ Si en la medición inicial se ha detectado metano se trabajará a la vez que se realiza medición en continuo del nivel de explosividad durante todo el tiempo que dure el trabajo.

EN CUALQUIER CASO TODOS LOS POZOS O COLECTORES SE VENTILARAN ADECUADAMENTE (ABRIENDO LAS TAPAS DE LOS POZOS ANTERIOR Y POSTERIOR Y SIEMPRE QUE SEA POSIBLE) Y EL TRABAJADOR QUE DESCienda AL COLECTOR PORTARA SIEMPRE COMO MINIMO UNA MASCARILLA CON FILTRO PARA GASES Y VAPORES.

2º.- Antes de comenzar el trabajo comprobar que los equipos de medición están calibrados y funcionan correctamente. Igualmente comprobar que los EPI, (máscaras y equipos de respiración autónomos), están limpios y en perfecto estado de mantenimiento.

Prever con antelación suficiente los equipos de protección individual y colectiva necesarios para el desarrollo del trabajo.

3º.- Los trabajos en pozos colectores se realizarán como mínimo por dos personas, permaneciendo una en el exterior y la otra en el interior con un cinturón tipo arnés sujeto al exterior en un punto fijo. Se utilizarán los medios de acceso adecuados, se comprobará el estado de los pates o escaleras y si fuera necesario se emplearan arnés, cuerda y dispositivo anticaídas.

El trabajador del exterior llevará un control de la situación durante todo el tiempo que dure el trabajo.

4º.- Se protegerán y señalizarán las zonas de acceso al espacio confinado.

5º. - Se utilizará la siguiente protección personal:

- Ropa de trabajo.
- Casco (si procede).
- Guantes contra riesgos biológicos y mecánicos.

- Bota de agua o calzado de goma.
- Máscara con filtro para gases y vapores; Equipo de respiración autónomo o semiautónomo (según los casos).
- Cinturón tipo arnés.

Y los siguientes equipos y herramientas de trabajo:

- Sistema anticaídas, trípode...,etc.
- Señalización.
- Detector de gases/explosímetro.
- Sistema de comunicación con el exterior [en caso de pozos muy profundos].
- Iluminación a tensión de seguridad.

6.- Trabajos en el interior:

–Trabajar en todo momento con el equipo de protección respiratoria adecuado [máscaras con filtro, equipo respiración autónomo o semiautónomo].

–Las luminarias y equipos eléctricos portátiles deberán utilizarse con tensión de seguridad de 24 V.

–Cuando permanezca un tiempo prolongado en el interior del recinto será necesario realizar mediciones periódicas en previsión de posibles cambios de las condiciones ambientales.

7º.- Finalizada la jornada laboral, limpiar y mantener en perfecto estado de mantenimiento los EPI.

Después de su utilización se debe colocar el equipo de protección individual en lugar indicado para ello.

8º.- Emergencias:

Se dispondrá de un botiquín debidamente equipado y de medios para el rescate de los trabajadores.

En caso de tormenta evacuar inmediatamente el colector y/o espacio confinado.

Está prohibido bajar a las alcantarillas en días de lluvia.

En caso de desvanecimiento de alguno de los trabajadores del interior del espacio confinado:

→ Intentar sacar al accidentado tirando desde el exterior de la cuerda que une el arnés del trabajador. NO ENTRAR EN EL INTERIOR.

→ Si fuese necesario entrar para poder evacuarlo, BAJAR CON UN EQUIPO DE RESPIRACION AUTONOMO O SEMIAUTONOMO.

PROHIBIDO BAJAR SIN PROTECCIÓN RESPIRATORIA.

8.5.3. Trabajos en espacios confinados

Procedimiento de seguridad para aquellos trabajos que impliquen la exposición a contaminantes biológicos sean aguas residuales, fangos,...

Procedimiento:

1º.- Evitar en la medida de lo posible el contacto directo con el agua residual.

2º.- En caso de que sea previsible el contacto con agua residual por generación de aerosoles o salpicaduras se utilizará la siguiente **protección personal**, previa comprobación del estado de mantenimiento:

- Ropa de trabajo.
- Guantes contra riesgo biológico y/o mecánico.
- Máscara con filtro para aerosoles y si es necesario pantalla facial.
- Bota de agua.

*TODOS LOS EPIS DEBEN TENER MARCADO CE IMPRESO EN LOS
MISMOS*

3º.- Permanecer el mínimo de tiempo posible en zonas de mayor exposición (generación de aerosoles, salpicaduras de agua, etc.)

4º.- En presencia de vientos nos retiraremos de la zona de riesgo, si esto no es posible utilizaremos los EPI y nos posicionaremos en contra del viento y por delante del riesgo.

5º.- Se utilizarán medios seguros para la recogida, almacenamiento y evacuación de residuos por los trabajadores, incluido el uso de recipientes seguros, previo tratamiento adecuado si fuese necesario.

6º.- Cumplir con el programa de vigilancia de la salud establecido, tanto en relación con reconocimientos médicos como con el programa de vacunación.

7º.- Como medidas higiénicas se adoptarán las siguientes:

- Guardar en un lugar adecuado los equipos y verificar que se limpian y reparan o sustituyen en caso de defectuoso.
- En caso de contaminación del EPI no guardarlos en lugares que contengan otras prendas o EPI.
- Se utilizará ropa de trabajo proporcionada por la empresa, y será la empresa la responsable del lavado, descontaminado y, en caso necesario, destrucción de dicha ropa y de los EPI, quedando **RIGUROSAMENTE PROHIBIDO QUE LOS TRABAJADORES SE LLEVEN LOS MISMOS A SU DOMICILIO.**
- Antes de realizar cualquier tarea, se curará y protegerá cualquier herida abierta.
- Antes de comer y de abandonar el trabajo, se dedicará cierto tiempo para el aseo personal : lavarse y desinfectarse las manos y cualquier parte del cuerpo donde haya podido haber contacto con agua residual u otro agente biológico.

PROHIBIDO TOTALMENTE FUMAR, COMER Y BEBER DURANTE LOS TRABAJOS EN LA EDAR COMO INSTALACIONES AUXILIARES DE SANEAMIENTO, EXCEPTO EN LOS LUGARES INDICADOS PARA ELLO.

9. BIBLIOGRAFÍA

- **Tchobanoglous, C.** “Sistema de manejos de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados”. Ed. 2000.
- **Aurelio Hernández Lehmann,** “Manual de Diseño de Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales”, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Madrid, Ed.1997.
- **Aurelio Hernández Muñoz,** “Depuración y Desinfección de Aguas Residuales”, Colegio de ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Madrid, 2001.
- **Metcalf & Eddy,** “Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización” , Editorial McGraw-Hill, Ed.1995.
- **Ramalho, R.S.** “ Tratamiento de aguas residuales”. Editorial Reverté, Ed. 1996.
- **Ronzano, E., Dapena J.L.** “Tratamiento biológico de las aguas residuales”. CRIDESA, Ed. 2002.
- **Apuntes asignaturas:**
Tecnología del Medio Ambiente
Flujo de fluidos.

- **Recursos electrónicos:**

www.edarma.es

www.azud.com

www.totagua.com

www.trojan.es

tecmoncade.aclumex.com

www.prescal.es

- **Evaluación de riesgos:** Apuntes curso Técnico Superior en Prevención de riesgos laborales, realizado en Prescal, 2009.

ANEXOS DE LA MEMORIA

ANEXO 1:

ESTUDIO DE LA UNIDAD DE ENTRADA A LA PLANTA.....pág.1

ANEXO 2:

TRATAMIENTO BIOLÓGICO POR

AIREACIÓN PROLONGADA.....pág.7

ANEXO 3:

DISEÑO DEL DECANTADOR SECUNDARIO.....pág.22

ANEXO 4:

ESTUDIO HIDRÁULICO Y DISEÑO DE TUBERÍAS.....pág.26

ANEXO 5:

BOMBA DE FANGO.....pág.36

ANEXO 6:

FICHA TÉCNICA EQUIPO FILTRACIÓN.....pág. 40

ANEXOS DE LA MEMORIA

ANEXO 1: ESTUDIO DE LA UNIDAD DE ENTRADA A LA PLANTA

Las dimensiones del canal de entrada a la E.D.A.R. deben ser las suficientes para recibir el caudal máximo para el cual se diseña la instalación.

Los parámetros de diseño característicos para este tipo de canales son:

- ✓ Pendiente del canal 0,5 %
- ✓ Canal de sección rectangular
- ✓ Anchura mayor a 0,3 m, y comprendida entre 0,3- 0,7 m.
- ✓ La altura de la lámina de agua debe superar los 0,1 m.

Las características geométricas del canal atienden a las siguientes relaciones:

- W: Ancho (m)
- H: Altura (m)
- Superficie (m²) = Ancho (m) · Altura (m)
- Perímetro mojado (m) = Ancho (m) + 2 Altura (m)
- Radio hidráulico (m) = Superficie (m²) / Perímetro mojado (m)

La velocidad de transporte, se calcula mediante la Ecuación de Manning:

$$V = (1/n) \cdot C_m \cdot R_H^{2/3} \cdot I^{1/2} = Q/S$$

donde:

- V: Velocidad de transporte del fluido (m/s).
- n: Coeficiente de rugosidad de Manning.
(Hormigón simple o reforzado fraguado in situ con juntas rugosas,
n = 0,017)
- C_m: constante empírica, valor 1 en S.I.
- R_H: Radio hidráulico (m).
- I: Pendiente del canal (m/m).
- Q: Caudal transportado (m³/s) = Velocidad (m/s) · Superficie (m²)

Los pasos a seguir en el cálculo serán los siguientes:

A. Se fija el ancho del canal que variará entre 0,3 y 0,7 m, y para cada valor de ancho de canal, se proponen distintos valores de altura de la lámina de agua.

Utilizando la ecuación de Manning y las características geométricas propuestas, se calculan las características hidráulicas del canal.

B. De los resultados obtenidos, se elegirán aquellos que cumplan con los siguientes requisitos de diseño (*Aurelio Hdez Muñoz 2001*):

- La velocidad de aproximación del agua debe ser superior a 0,6 m/s, de forma que se evite la acumulación y sedimentación de arenas y otros materiales pesados.

- La velocidad de paso a través de las barras, a caudal punta, no deberá ser superior a 1,0 m/s, evitándose el arrastre de basuras a través de las rejillas.

Además, sólo se aceptará aquel que se acerque más al caudal máximo de diseño. Dentro de estos condicionantes, se elegirá aquel que tenga una mayor altura.

C. Por último, se selecciona la anchura de canal que mejor se ajuste a los requisitos anteriores.

Siguiendo la secuencia de cálculo definida, y operando con Microsoft Excel, se obtienen los siguientes resultados:

Los datos obtenidos a partir de mis caudales de proyecto que son los siguientes, se muestran en los siguientes cuadros:

	<i>FASE Invernal</i>	<i>FASE Estival</i>
<i>Caudal medio m³/h</i>	5	23
<i>Caudal punta</i>	1.8	1.8

Valor de W = 0,3

H (m)	W*H (m ²)	Rh (m)	(Rh) ^{2/3}	V(m/s)	Q (m ³ /s)	Q(m ³ /h)
0,025	0,0075	0,021429	0,077149	0,320896	0,002407	8,664204
0,05	0,015	0,037500	0,112035	0,466005	0,006990	25,164252
0,075	0,0225	0,050000	0,135721	0,564524	0,012702	45,726480
0,1	0,03	0,060000	0,153262	0,637485	0,019125	68,848424
0,15	0,045	0,075000	0,177845	0,739736	0,033288	119,837278
0,2	0,06	0,085714	0,194403	0,808608	0,048517	174,659403
0,25	0,075	0,093750	0,206370	0,858388	0,064379	231,764739
0,3	0,09	0,100000	0,215443	0,896127	0,080651	290,345049

Valor de W = 0,4

H (m)	W*H (m ²)	Rh (m)	(Rh) ^{2/3}	V(m/s)	Q (m ³ /s)	Q(m ³ /h)
0,025	0,01	0,022222	0,079042	0,328772	0,003288	11,835781
0,05	0,02	0,040000	0,116961	0,486492	0,009730	35,027454
0,075	0,03	0,054545	0,143827	0,598240	0,017947	64,609872
0,1	0,04	0,066667	0,164414	0,683873	0,027355	98,477663
0,15	0,06	0,085714	0,194403	0,808608	0,048517	174,659403
0,2	0,08	0,100000	0,215443	0,896127	0,071690	258,084488
0,25	0,1	0,111111	0,231120	0,961334	0,096133	346,080324
0,3	0,12	0,120000	0,243288	1,011945	0,121433	437,160243

Valor de W = 0,5

H (m)	W*H (m ²)	Rh (m)	(Rh) ^{2/3}	V(m/s)	Q (m ³ /s)	Q(m ³ /h)
0,025	0,0125	0,022727	0,080235	0,333734	0,004172	15,018048
0,05	0,025	0,041667	0,120187	0,499914	0,012498	44,992255
0,075	0,0375	0,057692	0,149306	0,621033	0,023289	83,839457
0,1	0,05	0,071429	0,172153	0,716062	0,035803	128,891189
0,15	0,075	0,093750	0,206370	0,858388	0,064379	231,764739
0,2	0,1	0,111111	0,231120	0,961334	0,096133	346,080324
0,25	0,125	0,125000	0,250000	1,039863	0,129983	467,938311
0,3	0,15	0,136364	0,264931	1,101967	0,165295	595,062008

Valor
de W = 0,6

H (m)	W*H (m ²)	Rh (m)	(Rh) ^{2/3}	V(m/s)	Q (m ³ /s)	Q(m ³ /h)
0,025	0,015	0,023077	0,081056	0,337149	0,005057	18,206024
0,05	0,03	0,042857	0,122466	0,509391	0,015282	55,014265
0,075	0,045	0,060000	0,153262	0,637485	0,028687	103,272636
0,1	0,06	0,075000	0,177845	0,739736	0,044384	159,783038
0,15	0,09	0,100000	0,215443	0,896127	0,080651	290,345049
0,2	0,12	0,120000	0,243288	1,011945	0,121433	437,160243
0,25	0,15	0,136364	0,264931	1,101967	0,165295	595,062008
0,3	0,18	0,150000	0,282311	1,174258	0,211366	760,919288

Los datos que más se ajustan, según los requisitos anteriores son:

- Valor de W = 0,3 y H= 0,1.

Calculando las velocidades medias y puntas, para mis caudales de diseño, resulta:

$$V = Q_m / S = (23,43 \text{ m}^3/\text{h}) / (0,3 \times 0,1) = 0,216 \text{ m/s a velocidad media}$$

$$V = Q_m / S = (42,19 \text{ m}^3/\text{h}) / (0,3 \times 0,1) = 0,399 \text{ m/s a velocidad punta}$$

- Valor de W = 0,4 y H= 0,075

Calculando las velocidades medias y puntas, para mis caudales de diseño, resulta:

$$V = Q_m / S = (23,44 \text{ m}^3/\text{h}) / (0,4 \times 0,075) = 0,216 \text{ m/s a velocidad media}$$

$$V = Q_m / S = (42,19 \text{ m}^3/\text{h}) / (0,4 \times 0,075) = 0,399 \text{ m/s a velocidad punta.}$$

Por tanto, las conclusiones obtenidas tras este análisis me llevan a optar por una tubería que transporta el agua hasta la entrada de la unidad de debaste.

La misma, estará formada por dos arquetas de llegada de agua en la cual se instalarán dos rejillas prefabricadas de limpieza automática. El agua libre de sólidos gruesos saldrá de la arqueta, y por medio de una tubería, llegará a un tamiz de tambor rotatorio.

ANEXO 2: TRATAMIENTO BIOLÓGICO POR AIREACIÓN PROLONGADA

Se procederá al cálculo del reactor biológico. El modelo de base se tomará de la bibliografía (Hernández Lehmann, 1997)

Debido al pequeño caudal a tratar, y al aplicar el tratamiento de aireación prolongada, no existirá decantación primaria.

Se partirá de los siguientes datos de diseño.

CONTAMINANTES	Carga g/hab.día	Media diaria Kg/día	Punta diaria Kg/día	Mínima diaria Kg/día
<i>DBO₅</i>	60	150	270	120
<i>Sólidos en suspensión</i>	8	200	360	160
<i>Nitrógeno</i>	7,875	19,6875	35,4375	15,75
<i>Fosforo</i>	1,125	2,8125	5,0625	2,25

Se utilizarán los caudales medios para realizar los cálculos.

Los datos del influente para un caudal medio de **562,5 m³/día** y una temperatura de **15°C** son los siguientes:

$$DBO_5 = 266,7 \text{ mg / l}$$

$$DQO = 550 \text{ mg / l}$$

$$SS = 355,6 \text{ mg / l}$$

$$NTK = 35 \text{ mg / l}$$

$$P: 5 \text{ mg/l}$$

Antes de comenzar el procedimiento de cálculo, se muestra una lista de datos básicos requeridos y de los criterios fundamentales de diseño.

I. Datos de la alimentación inicial

- Caudal: Q_E , m^3/s .
- S_E , DBO_5 .
- Sólidos volátiles en la alimentación inicial, $X_{V,E}$.
- Nitrógeno total Kjeldahl y fósforo en la alimentación inicial, mg/l de N y P respectivamente.
- Temperatura de la alimentación, T_F .

II. Datos sobre la calidad del efluente

- S_S , mg/l de DBO_5 .
- Sólidos en suspensión en el efluente, $X_{f,S}$, $X_{V,S}$ (criterios de diseño del clarificador secundario).

III. Información para el diseño del reactor biológico

- Valor de diseño de la concentración de MLVSS, $X_{V,e}$ y valor seleccionado de la concentración de MLVSS en la corriente de reciclado ($X_{V,R}$).
 - Base de diseño para la fracción de sólidos volátiles en el reactor, F_V .
 - Temperatura del aire ambiente T_a
 - Parámetros biocinéticos a temperatura de laboratorio: k , Y , k_d , a y b .
 - Valores de θ para las correcciones de temperatura de estos parámetros.
- Información sobre las características de sedimentación de los VSS, correlación de VSZ o IVL con la relación A/M.
- Correlación para calcular la contribución de la DBO_5 de los VSS en el rebosadero del clarificador secundario.

El procedimiento de cálculo utilizado para diseñar el reactor biológico está basado en el modelo propuesto por Hernández Lehmann, 1997.

Los parámetros de diseño utilizados para el cálculo se resumen en la tabla siguiente:

<i>Parámetro</i>	<i>Concentración</i>
$Q_E (m^3 / s)$	0,0065
$X_{V,R} (mg / l)$	12500
$X_{V,e} (mg / l)$	4000
$S_E (mg / l)$	266,7
$S_S (mg / l)$	20
F_v	0,8
$X_{V,S}$	20

Según bibliografía, (Hernández Lehmann, 1997), se deben cumplir los siguientes valores:

- Sólidos en suspensión en el licor mezcla:
(MLSS) = $X_{V,e} = 4000 \text{ mg / l}$
- Sólidos en suspensión volátiles en el licor mezcla: (MLSSV)
(MLSSV) = $0,8 \cdot 4000 = 3200 \text{ mg / l}$

Además, para el diseño del reactor biológico se necesitan los datos de los diferentes coeficientes cinéticos, obtenidos de la bibliografía (Ramalho, 1996), que a continuación se describen:

- Coeficiente de crecimiento: $Y = 1.3 \text{ Kg MLVSS} / \text{Kg DBO consumida}$
- Coeficiente de mortalidad: $K_d = 0,06 \text{ d}^{-1}$
- $a \text{ (Kg O}_2 / \text{Kg DBO}_5 \text{ consumido)} = 0,52$
- $b \text{ (Kg O}_2 / \text{d Kg MLVSS)} = 1,3$
- $T = 15 \text{ }^\circ\text{C}$

Y por último considerar la edad del fango.

Edad del fango: $\Theta_C = 20 \text{ días}$.

Paso 1: Cálculo de la cantidad de sustrato consumido y del rendimiento del proceso.

Según la normativa vigente, el valor máximo de DBO_5 permitido en el efluente es de 20 mg/l. Este valor de DBO_5 incluye a la DBO_5 soluble y a la DBO_5 particulada.

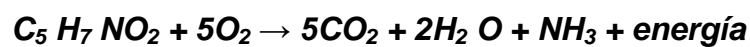
$$\text{DBO}_5 \text{ del efluente} = \text{DBO}_5 \text{ soluble que escapa del tratamiento} + \text{DBO}_5 \text{ particulada}$$

La DBO_5 soluble se define como aquella fracción de DBO que entra al tratamiento biológico y que éste no es capaz de biodegradar.

La DBO_5 particulada es aquella debida a los sólidos en suspensión biológicos biodegradables.

Esta puede ser calculada teniendo en cuenta que:

- La concentración de SST en el efluente debe ser 20 mg/l según normativa vigente.
- De esa cantidad de SST, el 80% son volátiles, según los datos de partida de diseño, y estimamos que el 65% biodegradables.
- Según la ecuación general de respiración endógena para fangos activos, para calcular la DBO_5 del efluente se aplica la ecuación:



Sabemos que se consumen 1,42 g de oxígeno por cada gramo de célula, y calculamos así la DBO_L o última:

$$(SST)_S = 20 \text{ mg SST / l}$$

$$SSV = 0.8 \text{ SST}$$

$$SSVB = 0.65 \text{ SSV}$$

De esta manera,

$$DBO_5 \text{ soluble} = DBO_5 \text{ efluente} - DBO_5 \text{ particularizada}$$

$$DBO_5 \text{ soluble} = 20 \text{ mg/l} - 12.55 \text{ mg/l} = 7.44 \text{ mg/ l.}$$

Luego, la eficacia del proceso será:

$$\eta = \frac{DBO_{\text{entrada}} - DBO_{\text{salida}}}{DBO_{\text{entrada}}} \cdot 100 = \frac{266,7 - 7,44}{266,7} = 97,21\%$$

Y la eficacia conjunta:

$$\eta_{\text{conjunta}} = \frac{DBO_{\text{entrada}} - DBO_{\text{salida}}}{DBO_{\text{entrada}}} \cdot 100 = \frac{266,7 - 20}{266,7} = 92,5\%$$

Paso 2: Cálculo del volumen del reactor.

Para estimar el volumen del reactor biológico, se determinará el volumen mínimo necesario según MLSS, carga másica y carga volúmica y se adoptará el valor más desfavorable.

- Según MLSS.

Para estimar el cálculo del volumen del reactor se aplicará la ecuación:

$$V_R = \frac{Q_E \cdot \theta_C \cdot Y (S_0 - S_S)}{X (1 + 0,06 \cdot 21,5)} = \frac{562,5 \cdot 20 \cdot 1,3 (266,7 - 20)}{4000 (1 + 0,06 \cdot 21,5)} = 410,04 \text{ m}^3$$

- Según la carga másica.

Para calcular la carga másica "C_m", se aplicará la ecuación de la memoria descriptiva.

"C_m" debe ser menor que 0,15 en procesos de aireación prolongada, por lo que se tendrá lo siguiente:

$$C_m = S_0 \cdot Q / (X \cdot V_R)$$

$$V_R = \frac{S_0 \cdot Q_E}{C_m \cdot X} = \frac{266,7 \cdot 562,5}{4000 \cdot 0,15} = 250,05 \text{ m}^3$$

- Según la carga volúmica.

Se aplicará la ecuación de la memoria descriptiva.

Teniendo en cuenta que C_v debe ser menor de 0,3 en procesos de aireación prolongada, se tiene lo siguiente:

$$C_v = (S_0 \cdot Q) / V_R$$

$$V_R = \frac{S_0 \cdot Q_E}{C_v \cdot 1000} = \frac{266,7 \cdot 562,5}{0,3 \cdot 1000} = 500,11 \text{ m}^3$$

Por lo tanto el volumen del reactor deberá ser como mínimo 500,11 m³, por lo que adoptando una cuba de dimensiones:

Profundidad : 3 m

Diámetro: 14,75 m

Obteniéndose un V_R = 512,7 m³

Una vez calculado el volumen, se comprueban si los valores de carga másica y volúmica están dentro de los establecidos para aireación prolongada:

- Edad del fango:

Con el nuevo volumen adoptado, la nueva edad del fango será

Se obtiene un nuevo valor de θ_C

$$\theta_C = 35,7 \text{ días.}$$

- Comprobación de la carga másica:

$$C_m = (S_0 \cdot Q) / (X \cdot V_R)$$

$$C_m = (562,5 \cdot 266,7) / (4000 \cdot 512,7)$$

$$C_m = 0,073 \text{ kg DBO}_5 / \text{kg SSL.}$$

- Comprobación de la carga volúmica:

$$C_v = (S_0 \cdot Q) / V_R$$

$$C_v = (266,7 \cdot 562,5) / (512,7)$$

$$C_v = 0,29 \text{ kg DBO}_5 / \text{m}^3$$

Podemos comprobar que estos valores están dentro del rango característico para este tipo de proceso.

Paso 3: Cálculo de las necesidades teóricas de oxígeno.

Para calcular la necesidad teórica de oxígeno habrá que diferenciar entre el oxígeno necesario para la síntesis y, el necesario para la endogénesis.

- **Oxígeno para la síntesis:**

Para calcular las necesidades de oxígeno se tomará el modelo de cálculo expuesto en la bibliografía (Hernández Lehmann, 1997)

$$a = 0,5 + (0,01 \cdot \theta_C)$$

$$a = 0,5 + (0,01 \cdot 35,7)$$

$$a = 0,85 \text{ O}_2 / \text{kg DBO}_5$$

Como este valor es superior a 0,52, se adoptará directamente:

$$a = 0,52 \text{ kg O}_2 / \text{kg DBO}_5$$

Por lo que el oxígeno teórico necesario para la síntesis es:

$$\text{kg O}_2 / \text{día} = a \cdot (\text{DBO}_5) \cdot Q_E = 0,52 \cdot (266,7/1000) \cdot 562,5 =$$

$$\text{kg O}_2 / \text{día} = 78,01 \text{ (Síntesis)}$$

- **Oxígeno para la endogénesis:**

$$b = (0,13 \cdot \theta_C) / (1 + (0,16 \cdot \theta_C))$$

$$b = (0,13 \cdot 35,7) / (1 + (0,16 \cdot 35,7))$$

$$b = 0,67 \text{ kg O}_2 / \text{kg DBO}_5$$

Por lo que el oxígeno teórico necesario para la endogénesis es:

$$\text{kg O}_2 / \text{día} = b \cdot (\text{DBO}_5) \cdot Q_E = 0,67 \cdot (266,7/1000) \cdot 562,5 =$$

$$\text{kg O}_2 / \text{día} = 103,75 \text{ (Endogénesis)}$$

Luego la necesidad total teórica será por tanto:

$$\text{O.N.} = \text{O.N.}_{\text{síntesis}} + \text{O.N.}_{\text{endogénesis}}$$

$$\text{O.N.} = 78,01 \text{ kg O}_2 / \text{día} + 103,75 \text{ kg O}_2 / \text{día}$$

$$\text{O.N.} = 181,77 \text{ kg O}_2 / \text{día}$$

- **Necesidades punta de oxígeno**

Teniendo en cuenta que mi caudal punta es de 42,19 m³, con un factor punta de 1,8. Se obtiene que:

$$\text{O.N.}_{\text{punta}} = 327,17 \text{ kg O}_2 / \text{día}$$

- **Necesidades reales**

Según se ha indicado en el apartado anterior, el oxígeno teórico a aportar es de 327,17 kg / día, pero esta cantidad se ha calculado según condiciones normalizadas de laboratorio.

Para estimar el consumo en las condiciones reales, hay que tener en cuenta algunos parámetros:

$$\text{Oxígeno real} = \text{Oxígeno necesario teórico} / K_t$$

siendo K_t el coeficiente global de transferencia, que se calcula a su vez como el producto de otros tres coeficientes:

$$K_t = K_{t1} \cdot K_{t2} \cdot K_{t3}$$

- **Coeficiente K_{t1}**

Este coeficiente viene definido en la bibliografía a partir de la ecuación

$$K_{t1} = (C'_s - C_x) / C_s$$

K_{t1} tiene en cuenta el déficit de saturación de oxígeno del licor mezcla. En este caso, se cumple:

Temperatura del agua en el tanque de aireación: 15 °C

Concentración media de oxígeno en el tanque de aireación: $C_x = 2 \text{ mg / l}$

Concentración de saturación en agua clara, a 15 °C y presión atmosférica normal: $C_s = 10,15 \text{ mg/l}$ (según cuadro)

Valores de C_s en función de la temperatura T.

T (°C)	C_s(mg/l)	T (°C)	C_s(mg/l)
1	14,23	16	9,95
2	13,84	17	9,74
3	13,48	18	9,54
4	13,13	19	9,35
5	12,80	20	9,17
6	12,48	21	8,99
7	12,17	22	8,83
8	11,87	23	8,68
9	11,59	24	8,53
10	11,33	25	8,38
11	11,08	26	8,22
12	10,83	27	9,07
13	10,60	28	7,92

14	10,37	29	7,77
15	10,15	30	7,63

Para calcular la concentración de saturación a la temperatura de 15 °C (C_s'), se hará a partir del valor obtenido de C_s de la tabla, (10,15 mg / l) aplicándole los siguientes factores de corrección:

1) Parámetro β que tiene en cuenta los sólidos en suspensión del licor y su salinidad.

Para salinidad inferiores a 3 g / l, se adopta un valor de $\beta = 0,98$

2) Parámetro C_p , que tiene en cuenta las variaciones de presión debidas a la altitud:

$C_p = 1 - (0,111 \cdot \text{Altitud (m)} / 1000) = 0,99956$ (altitud de 4 m / nivel del mar).

3) Parámetro C_A que tiene en cuenta la altura de agua en el tanque de aireación.

La aireación se va a llevar a cabo mediante aireadores de superficie, la concentración de saturación media es la misma que en la superficie. Por lo tanto, no hay corrección y el valor de C_A es 1.

Aplicando los factores de corrección, el cálculo de C_s' será como sigue:

$$C_s' = C_s \cdot \beta \cdot C_p \cdot C_A = 9,9426$$

Por lo que el coeficiente K_{t1} se calculará aplicando la ecuación:

$$K_{t1} = (C_s' - C_x) / C_s$$

$$K_{t1} = (9,9426 - 2) / 10,15 = 0,7825$$

$$\mathbf{K_{t1} = 0,7825}$$

- **Coefficiente K_{t2}**

Tiene en cuenta la influencia de la temperatura en la velocidad de difusión del oxígeno, K_{t2} se calcula aplicando la ecuación:

$$K_{t2} = 1,024^{(T-10)}$$

Como se ha adoptado una temperatura del agua en el tanque de aireación de 15 °C se obtiene:

$$K_{t2} = 1,024^{(15-10)} = 1,12$$

$$\mathbf{K_{t2} = 1,12}$$

- **Coefficiente K_{t3}**

Tiene en cuenta la influencia de la temperatura en la velocidad de disolución del oxígeno, teniendo en cuenta también las características del licor, en el caso estudiado, la difusión de aire se realiza con turbinas de superficie, por lo que haciendo uso de la tabla siguiente, se obtendrá el valor de K_{t3} :

$$\mathbf{K_{t3} = 0,9}$$

Sistema de Aireación	K_{t3}
<i>Aire con burbujas finas</i>	
- Carga media sin nitrificación	0,55
- Carga baja con nitrificación	0,65
<i>Aire con difusores estáticos</i>	0,80
<i>Aireadores de superficie</i>	0,90
<i>Aire con burbujas gruesas</i>	0,90

Por lo tanto, el coeficiente total de transferencia K_t se calculará aplicando la ecuación:

$$\mathbf{K_t = K_{t1} \cdot K_{t2} \cdot K_{t3} = 0,78876}$$

Siendo así, el oxígeno a aportar en condiciones reales será el que resulte de la aplicación de la ecuación:

Oxígeno real = O.N. teórico / K_t

$$\text{Oxígeno real} = \text{O.N. teórico} / K_t = 327,17 / 0,78876 = 412,68 \text{ kg O}_2 / \text{día}$$

Paso 4: Potencia a instalar.

Para calcular la potencia a instalar se adoptará una capacidad de transferencia de las turbinas de 1 kg O₂/ kW h.

Según la ecuación siguiente, (Hernández Lehmann, 1997):

$$\text{Potencia} = \frac{\text{Oxígeno puntual (kg O}_2/\text{día)}}{\text{Capacidad de transferencia (kg O}_2/\text{kWh)}} = 17,19 \text{ kW}$$

Se necesitan 20 kW de potencia total instalada, gracias a una turbina de dicha capacidad.

Paso 5: Caudal de recirculación.

Para el cálculo del caudal de recirculación se utiliza la ecuación de la memoria descriptiva:

$$Q_R = r \cdot Q_E$$

donde Q_R = Caudal de recirculación.

Se necesitará, por tanto, el valor de r , para lo cual se utilizará la ecuación siguiente, para aireación prolongada (Ramalho, 1996):

$$r = [X_{V,e} - (1-\phi) Y (S_E - S_S)] / [X_{V,R} - X_{V,e}]$$

$$r = [4000 - (1-0,77) \cdot 1,3 \cdot (266,7 - 20)] / [12500 - 4000]$$

$$r = 0,462$$

Por todo ello, el caudal de recirculación será:

$$Q_R = r \cdot Q_E$$

$$Q_R = 0,462 \cdot 562,5 = 259,85 \text{ m}^3 / \text{día}$$

Paso 6: Caudal de purga.

Para el cálculo del caudal de purga se utilizará la ecuación de la memoria descriptiva:

$$Q_W = [(Q_E \cdot X_{V,E}) + \Delta X_V - (Q_E \cdot X_{V,S})] / [X_{V,R} - X_{V,S}]$$

Para calcular el caudal de purga, se necesita conocer el valor de ΔX_V .

Para ello se utiliza la ecuación:

$$\Delta X_V = [Y (S_E - S_S) \cdot Q_E] - K_d X_{V,e} \cdot V$$

$$\Delta X_V = [86,4 \cdot 1,3 \cdot (266,7 - 20) \cdot 0,0065] - [0,06 \cdot 4000 \cdot 510 \cdot 10^{-3}]$$

$$\Delta X_V = 57,39 \text{ Kg / día}$$

Sustituyendo,

$$Q_W = [(86,4 \cdot 0,0065 \cdot 284,8) + 69,58 - (86,4 \cdot 0,0065 \cdot 16)] / [(12500 - 16) \cdot 10^{-3}]$$

$$Q_W = 17,71 \text{ m}^3 / \text{día}$$

Paso 6: Caudal de salida efluente, caudal de alimentación combinada, caudal descarga decantador.

El caudal de salida del efluente se calculará aplicando la ecuación de la memoria descriptiva:

$Q_E = Q_S + Q_W$, despejando en esta ecuación el valor de Q_S , se obtendrá lo siguiente:

$$Q_S = Q_E - Q_W$$

$$Q_S = 562,5 - 17,71 = 545,85 \text{ m}^3 / \text{día}$$

Por otro lado, el caudal de la alimentación combinada se calcula aplicando la ecuación:

$$Q = Q_E (1 + r)$$

$$Q = 562,5 \cdot (1 + 0,462) = 822,41 \text{ m}^3 / \text{día}$$

Por último, también se podría dar el dato del caudal de descarga del decantador secundario. Este caudal se obtendría simplemente por diferencia entre el caudal inicial y el final.

$$Q_u = Q - Q_s$$

$$Q_u = 822,41 - 545,85 = 276,56 \text{ m}^3 / \text{día}$$

Paso 7: Balance de materia para sólidos no volátiles.

Para el cálculo de $X_{f,a}$ se hará referencia a la ecuación:

$$X_{f,a} = (1 - F_v) X_{v,e} / F_v$$

$$X_{f,a} = (1 - 0,8) 4000 / 0,8$$

$$X_{f,a} = 1000 \text{ mg / l}$$

Por otro lado, se calculará $X_{f,u}$ haciendo uso de la ecuación de la memoria descriptiva:

$$X_{f,u} = [Q_E \cdot ((1 + r) X_{f,e}) - (Q_S X_{f,s})] / [Q_u]$$

$$X_{f,u} = [562,5 \cdot ((1 + 0,462) \cdot 1000) - (545,85 \cdot 4)] / 276,56$$

$$X_{f,u} = 2965,80 \text{ mg / l}$$

Lo último en este apartado será calcular $X_{f,E}$, para lo cual se aplicará la ecuación de la memoria descriptiva.

$$X_{f,E} = ((1 + r) \cdot X_{f,e}) - (r \cdot X_{f,u})$$

$$X_{f,E} = ((1 + 0,462) 1000) - (0,462 \cdot 2965,80)$$

$$X_{f,E} = 91,97 \text{ mg / l}$$

Paso 8: Cantidad de lodos producidos.

Para el cálculo de la producción total de lodos, lo primero será determinar la cantidad de sólidos en suspensión en la purga $(VSS)_w$. Para ello se utiliza la ecuación deducida en la memoria descriptiva:

$$(VSS)_w = \Delta X_v + (Q_E \cdot X_{v,E}) - (Q_S \cdot X_{v,S})$$

$$(VSS)_w = 57,39 + (86,4 \cdot 0,0065 \cdot 284,8) - (0,065 \cdot 16)$$

$$(VSS)_w = 217,51 \text{ kg / día}$$

Paso 9: Cálculo de la DBO₅ en la alimentación combinada, S_o , $X_{v,o}$

En el caso del cálculo de la DBO₅ en la alimentación combinada, lo primero será determinar el valor de S_o . Para ello se hará uso de la ecuación expuesta en la memoria descriptiva:

$$S_o = (S_E + (r \cdot S_s)) / (1 + r)$$

$$S_o = (266,7 + (0,462 \cdot 20)) / (1 + 0,462)$$

$$S_o = 188,75 \text{ mg / l}$$

Por otro lado, también hay que calcular el valor de $X_{v,o}$. Para ello se utilizará la ecuación de la memoria descriptiva:

$$X_{v,o} = (X_{v,E} + r \cdot X_{v,R}) / (1 + r)$$

$$X_{v,o} = (284,8 + (0,462 \cdot 12500)) / (1 + 0,462)$$

$$\mathbf{X_{v,o} = 4144,35 \text{ mg / l}}$$

Paso 10: Consumo de nutrientes.

La degradación biológica aerobia de las aguas residuales necesita una cierta cantidad de distintos nutrientes como el magnesio, el fósforo, el calcio, el nitrógeno o las vitaminas. La mayor parte de estos nutrientes se encuentra ya presente en las aguas residuales, pero en muchas de estas aguas existen deficiencias de nitrógeno y fósforo. Para minimizar este déficit se le añaden al reactor biológico una cantidad calculada de compuestos que contengan estos elementos.

Para estimar las necesidades de nitrógeno y fósforo se parte de los datos de la bibliografía en la que se indica que los MLVSS purgados contienen alrededor del 2% de su peso seco en fósforo y el 12% en nitrógeno (Ramalho,1996).

- Consumo de nitrógeno

La expresión utilizada para calcular el consumo de nitrógeno será la ecuación de la memoria descriptiva:

$$\text{Consumo N} = 0,12 \Delta X_v + (Q_E \cdot 1,0 \cdot 86,4)$$

$$\text{Consumo N} = (0,12 \cdot 66,57) + (0,0065 \cdot 1,0 \cdot 86,4) = 8,91 \text{ kg/día}$$

$$\mathbf{\text{Consumo N} = 8,55 \text{ kg/día}}$$

- Consumo de fósforo

En el caso del consumo de P, la expresión utilizada será la ecuación de la memoria descriptiva.

$$\text{Consumo P} = (0,02 \cdot \Delta X_v) + (Q_E \cdot 0,5 \cdot 86,4)$$

$$\text{Consumo P} = (0,02 \cdot 66,57) + (0,0065 \cdot 0,5 \cdot 86,4)$$

$$\mathbf{\text{Consumo P} = 1,61 \text{ Kg / día.}}$$

La cantidad de nitrógeno y fósforo de la alimentación inicial superan estos valores:

Nitrógeno total en la alimentación: 35 mg / l = 19,68 kg / día.

Fósforo total en la alimentación: 5 mg / l = 2,81 kg / día.

Por lo que no es necesaria una adición de dichos nutrientes, ya que las cantidades de fósforo y nitrógeno disponibles son mayores que las que se requieren.

Además, podemos estimar que a la salida obtendremos:

Nitrógeno total: 19,68 – 8,55 = 11,13 kg/día ---19,7 mg/l

Fósforo total: 2,81 – 1,61 = 1,2 kg / día ---- 1,98 mg/l

Con lo cual, aunque nuestra zona no se considera sensible, se deduce que tampoco sería necesario un tratamiento de desnitrificación.

7.13. Cálculo de DBO_{5total}

Para el cálculo de la DBO_{5 total} se utilizará la ecuación de la memoria descriptiva:

$$DBO_{5total} = S_s + \varphi X_{V,S}$$

Para el cálculo de φ se necesita conocer la relación A / M. Esta relación cumple la expresión $S_E / X_{V,e} t$, siendo t el tiempo de residencia de las aguas residuales en el reactor biológico.

A su vez t se calcula a partir de la ecuación:

$$t = [\Phi Y (S_E - S_s)] / [K_d \cdot X_{V,e}]$$

$$t = [0,77 \cdot 1,3 (266,7 - 20)] / [0,06 \cdot 4000]$$

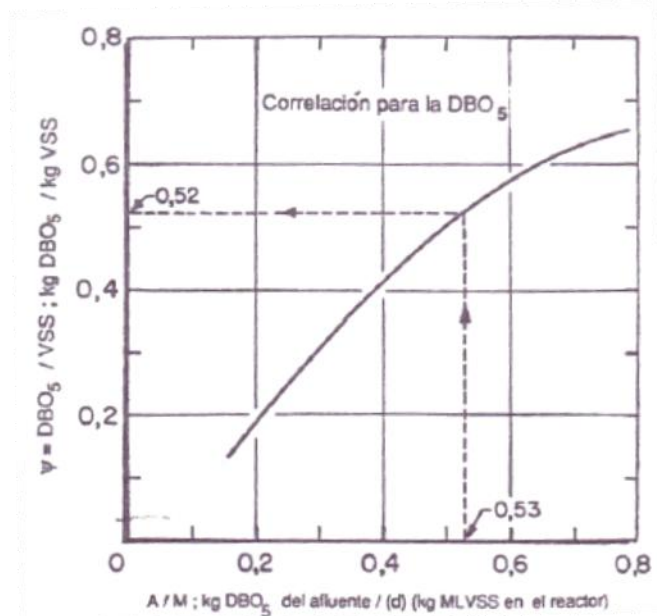
$$t = 1,02 \text{ días} = 24,69 \text{ h}$$

Este dato está dentro de los límites establecidos por la bibliografía (Ramalho, 1996), para aireación prolongada, entre 15 y 36 h.

Por lo tanto, la relación A / M será:

$$A / M = 266,7 / (4000 \cdot 1,02) = 0,065 \text{ d}^{-1}$$

El valor de ϕ será de 0,058 haciendo uso de la figura siguiente de la memoria descriptiva.

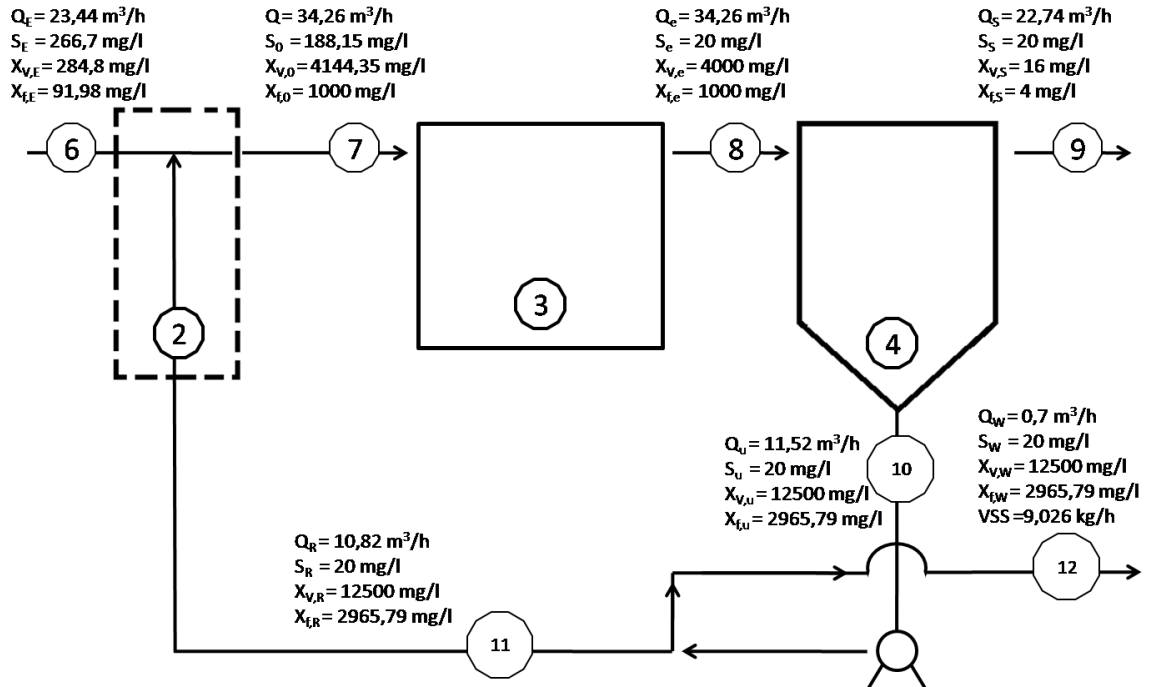


Por lo que $\text{DBO}_{5\text{total}}$ será:

$$\text{DBO}_{5\text{total}} = 20 + (0,065 \cdot 16) = 21,04 \text{ mg/l}$$

Este valor es aceptado, ya que es inferior a los 25 mg/l, valor límite de DBO₅ exigido por la norma a los vertidos depurados.

En el diagrama de flujo del proceso que se muestra a continuación, se pueden ver los resultados obtenidos:



ANEXO 3: DISEÑO DEL DECANTADOR SECUNDARIO

Cálculo de las dimensiones del decantador.

Para el dimensionado del decantador, el parámetro de diseño principal es la velocidad ascensional, junto con el tiempo de retención y la carga en el vertedero. Normalmente el diseño de decantadores en un proceso de aireación prolongada consta de los siguientes parámetros (Hernández Lehmann, 1997):

- **Diámetro y superficie.**

Si se parte del caudal máximo, se tiene:

$$A (Q_{\text{máx}}) = Q_{\text{máx}} / V_{\text{asc}} (Q_{\text{máx}}) = 42,19 / 1,5 = 28,13 \text{ m}^2$$

Según el caudal medio:

$$A (Q_{\text{med}}) = Q_{\text{med}} / V_{\text{asc}} (\text{med}) = 23,44 / 0,7 = 33,49 \text{ m}^2$$

Se seleccionará el valor mayor de las áreas, por ser el caso más desfavorable. Por lo tanto $S = 33,49 \text{ m}^2$. Se adoptará una unidad circular de diámetro:

$$D = \sqrt{(4 A / \pi)} = \sqrt{(4 \times 33,49 / \pi)} = 6,52 \text{ m}$$

$$D = 6,6 \text{ m}$$

$$S_{\text{real}} = 34,21 \text{ m}^2$$

Comprobación de la carga de sólidos

Se calculará a continuación la carga de sólidos, utilizando la ecuación:

$$C_{\text{sólido } Q_{\text{máx}}} = X_{V,a} \cdot Q_{\text{máx}} / S_{\text{real}}$$

- A Caudal máximo:

$$C_{\text{sólido } Q_{\text{máx}}} = (4000 / 1000) \cdot 42,19 / 34,21 = 4,93 \text{ kg} / \text{h m}^2$$

Al ser $C_{Q_{\text{máx}}} \leq 7 \text{ kg} / \text{h m}^2$, se considera un valor válido, según los valores de la tabla anterior.

- A Caudal medio:

$$C_{\text{sólido } Q_{\text{medio}}} = ((4000 / 1000) \cdot 23,44) / 34,21 = 2,74 \text{ kg / h m}^2$$

Al ser $C_{Q_{\text{medio}}} \leq 4,2 \text{ kg / h m}^2$, también se considera un valor válido.

• Volumen y altura

A caudal máximo, la expresión que se utiliza para calcular el volumen es la ecuación:

$$V_{Q_{\text{máx}}} = \text{THR}_{Q_{\text{máx}}} \cdot Q_{\text{máx}}$$

$$V_{Q_{\text{máx}}} = 1,7 \cdot 42,19 = 71,723 \text{ m}^3$$

A caudal medio, la expresión que se utiliza para calcular el volumen es la ecuación:

$$V_{Q_{\text{med}}} = \text{tr}_{Q_{\text{med}}} \cdot Q_{\text{med}}$$

$$V_{Q_{\text{med}}} = 3,6 \cdot 23,44 = 84,384 \text{ m}^3$$

Por tanto, el volumen total de decantación debe ser mayor o igual de $84,384 \text{ m}^3$.

Si se conocen el volumen y el área, se podrá calcular la altura.

Para el cálculo de la altura, se hará uso de la ecuación:

$$h \geq \text{Volumen} / \text{Superficie}$$

$$h \geq 84,384 / 34,21 = 2,46 \text{ m} .$$

Este valor es menor al mínimo recomendado (entre 3 y 5 m). Por ello, se adoptará una **$h = 3 \text{ m}$** .

Por lo tanto, el volumen real será el que resulte de la aplicación de la ecuación:

$$V_{\text{real}} = h_{\text{útil}} \cdot S_{\text{real}}$$

$$V_{\text{real}} = 3 \cdot 34,21 = 102,63 \text{ m}^3$$

• Comprobación de la carga sobre vertedero.

A caudal máximo, se aplicará la ecuación:

$$C_{\text{vertedero de } Q_{\text{máx}}} = Q_{\text{máx}} / 2 \cdot \pi \cdot D$$

$$C_{\text{vertedero de } Q_{\text{máx}}} = 42,19 / (2 \cdot \pi \cdot 6,6) = 1,01 \text{ m}^2 / \text{h} .$$

Se cumple que $1,22 \text{ es } \leq 9 \text{ m}^2 / \text{h}$, por lo que se considera un valor válido.

A caudal medio, se aplicará la ecuación:

$$C_{\text{vertedero de } Q_{\text{med}}} = Q_{\text{med}} / 2 \cdot \pi \cdot D$$

$$C_{\text{vertedero de } Q_{\text{med}}} = 23,44 / 2 \cdot \pi \cdot 6,6 = 0,56 \text{ m}^2 / \text{h}.$$

Se cumple que $0,56 \text{ m}^2 / \text{h}$ es $\leq 4 \text{ m}^2 / \text{h}$, por lo que se considera un valor válido.

- **Longitud de vertedero.**

$$L_{\text{vertedero}} = 2 \pi R = 20,73 \text{ m}$$

$$L_{\text{vertedero}} = 20,73 \text{ m}$$

- **Determinación de las dimensiones del deflector de entrada**

Según la bibliografía consultada los parámetros de diseño característicos para decantadores son:

Parámetros de diseño:

- Relación d_1/D : 0.15
- Relación h_1/h : 0.5
- Pendiente del decantador: 3 %

$$h = H + h'$$

$$h = 3 + (3,3 \times 3 / 100) = 3,1 \text{ m}$$

$$h_1/h = 0,5 \rightarrow h_1 = 0,5 \times 3,1 = 1,55 \text{ m}$$

Siguiendo la relación anterior, como el diámetro del decantador es 6,6 m, el diámetro del deflector de entrada será 1,0 m.

De la misma manera y teniendo en cuenta la pendiente del decantador se obtiene una altura del decantador de 3.1 m y del deflector de entrada de 1.6 m.

- **Cálculo del volumen de la poceta de fangos**

Sabiendo que el caudal de lodos es de 17,3 m³/d y adoptando un tiempo de residencia del lodo en la poceta de 3 horas, se obtiene un volumen de poceta de:

$$V_{poceta} = Q_w \cdot THR / 2 = (3 \cdot 16,71 / 24) / 2 = 1,04 \text{ m}^3$$

$$V_{poceta} = 1,04 \text{ m}^3$$

El decantador secundario constará de un tanque tronco-cónico de 6,6 m de diámetro y una altura de 3,1 m.

La inclinación de la solera será del 3% y tendrá un mecanismo de paletas rascadoras “eje de rasquetas” para impedir la deposición de los lodos.

Las aguas clarificadas saldrán por un rebosamiento en el centro del tanque e irán a parar a una tubería que las conducirá a la zona de vertido.

Los lodos se depositarán en el fondo del tanque y serán recogidos por la parte central con una bomba de tornillo excéntrico, para ser purgados y recirculados al reactor biológico, a través de una tubería que llevará incorporada una válvula de regulación.

ANEXO 4: ESTUDIO HIDRAÚLICO Y DISEÑO DE TUBERÍAS

En este apartado, se determinan las pérdidas de carga y se dimensionan las tuberías necesarias para la conexión de equipos.

Se dimensionarán por tanto, las tuberías de la línea de agua, y las de la línea de fangos.

Además será necesario tener en cuenta que las entradas y salidas de la mayoría de los equipos están establecidas por el diseño del fabricante.

Dimensionamiento de tuberías

A partir de la ecuación de continuidad, se calcula la sección cilíndrica para las diferentes líneas.

$$Q = A \times V$$

donde:

Q: Caudal volumétrico, m³/s.

A: Área de sección transversal de la tubería, m².

V: es la velocidad del fluido, m/s.

D es el diámetro de la tubería, m.

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \cdot V}}$$

Despejando el diámetro, obtenemos las dimensiones de la tubería en función de la velocidad y el caudal que circula a través de ella.

Seleccionar la velocidad adecuada es un aspecto clave por las siguientes razones:

- Una velocidad excesiva originará mayores pérdidas por rozamiento, provocando un aumento en los costes de bombeo.
- Una velocidad demasiado reducida induce a elementos y tuberías mayores, aumentando los costes de instalación.

Para caudales medios en condiciones forzadas, según la bibliografía, se considera que las velocidades deben mantenerse entre 0,5 y 1,5 m/s.

En este caso, se ha optado por un valor medio de 1 m/s.

- Alimentación inicial a rejillas:

$$Q_E: 23,44 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$D_{\text{interno}} : 91 \text{ mm} \rightarrow \text{AISI 316} - 125 \text{ mm}$$

- Entrada al tanque biológico:

$$Q: 23,44 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$D_{\text{interno}} : 91 \text{ mm} \rightarrow \text{AISI 316} - 125 \text{ mm}$$

- Salida lodos al decantador:

$$Q = 23,44 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$D_{\text{interno}} : 89 \text{ mm} \rightarrow \text{AISI 316} - 125 \text{ mm}$$

- Recirculación:

$$Q = 10,83 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$D_{\text{interno}} : 61 \text{ mm} \rightarrow \text{AISI 316} - 80 \text{ mm}$$

- Descarga clarificador

$$Q = 11,52 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$D_{\text{interno}} : 64 \text{ mm} \rightarrow \text{AISI 316} - 80 \text{ mm}$$

- Purga de lodos

$$Q = 0,69 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$D_{\text{interno}} : 16 \text{ mm} \rightarrow \text{AISI 316} - 16 \text{ mm}$$

La tabla, a modo resumen muestra los diámetros estándar según Norma UNE, calculados para las tuberías de Acero Inoxidable AISI 316 que se instalan.

Línea	Diámetro nominal
Alimentación inicial a rejas	125
Entrada al tanque biológico:	125
Salida lodos al decantador:	125
Rebose del decantador	125
Descarga clarificador	80
Recirculación:	80
Purga de lodos	16

Los diámetros de las tuberías para los equipos comerciales son:

Línea	Diámetro nominal Entrada	Diámetro nominal Salida
Tamiz	200	250
Filtro	150	125
UV	200	200

Se observa que las entradas y salidas de los equipos tienen diferentes valores de diámetros. Se ha optado por unificarlos, evitando en la manera de lo posible accesorios de unión.

<i>CONEXIONES LÍNEA DE AGUA</i>	
Arqueta principal- Reja- Tamiz	Las tuberías de entrada y salida serán de 125 mm. A la entrada de ambas se colocará una arqueta de seguridad y de la misma al filtro una tubería de 200 mm.
Tamiz-Biológico	La tubería de salida comercial es de 250 mm. Se instala un elemento de unión hasta 125 mm, llegando hasta el biológico con ese mismo diámetro.
Biológico- Decantador	Se instalará una tubería de 125 mm.
Decantador- Filtro	Dado que la entrada al filtro es de 150, se instalará una conexión de tal diámetro.
Filtro- UV	La tubería de salida del filtro corresponde a 125 mm, y la tubería que entra al canal prefabricado UV de 200 mm.

<i>CONEXIONES LÍNEA DE FANGO</i>	
Descarga clarificador	Se instalará una tubería de 125 mm. Según recomendaciones, MetCalf y Eddy
Recirculación	Se instalará una tubería de 125 mm. Según recomendaciones, MetCalf y Eddy
Purga	Se instalará una tubería de 125 mm. Según recomendaciones, MetCalf y Eddy

Para el diseño de bombas, es imprescindible conocer las pérdidas de carga que experimenta el fluido al paso de la corriente.

En el caso que nos ocupa, no será necesario la determinación de las mismas, ya que la circulación del agua en la planta será aprovechando la fuerza de la gravedad, por lo que no se necesita equipos para la impulsión de fluidos.

Por otro lado, las unidades comerciales seleccionadas ya traen instalados sus equipos de bombeo, con lo cual no será necesario un estudio.

A continuación se describe el procedimiento, en caso de que quisiéramos hacer algunas aclaraciones, y que se utilizará para calcular las pérdidas de carga en fangos.

Perdidas de carga a través de conducciones

El cálculo de las pérdidas por fricción se realiza por medio de la ecuación de Fanning:

$$P_0 - P_L = 4f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2$$

Para estimar las pérdidas de carga se divide la expresión anterior por el producto de la densidad del fluido por la gravedad, con el fin de expresarla con dimensiones de longitud:

$$h_f = \frac{P_0 - P_L}{\rho \cdot g} = 4f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

Perdidas de carga a través de accesorios

Para calcular las pérdidas de carga a través de accesorios se pueden usar dos métodos:

1._ Expresarlas empíricamente como función de la energía cinética que corresponde a la unidad de masa del fluido:

$$h_f = K \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

Donde K tiene valores distintos para cada accidente.

2._Definiendo la longitud equivalente: longitud de tubo recto, de igual diámetro que el accesorio que produciría una pérdida de energía análoga.

$$h_f = f \cdot \frac{L_{eq}}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

Perdidas de carga debido a ensanchamientos bruscos

En el caso de las arquetas de las rejillas deberemos tener en cuenta este factor.

Las pérdidas por fricción son proporcionales a la carga de velocidad del fluido en la sección estrecha y vienen dadas por la expresión:

$$h_f = K \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

Donde K, llamado coeficiente de expansión, viene dado por la expresión:

$$K = \left(\frac{S_a}{S_b} - 1 \right)^2$$

Por tanto, las pérdidas de carga totales que experimenta la línea, corresponden a la suma de los términos anteriores y se calculan del siguiente modo.

Para llevar a cabo los cálculos mediante la ecuación de Fanning, debemos conocer:

- *El régimen de flujo, calculado a partir de la ecuación:*

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu}$$

- *Coficiente de rugosidad relativa:*

Calculado a partir del diámetro de la conducción, haciendo uso del gráfico 1.

- *El factor de fricción*

Se calcula haciendo uso del gráfico 2, conociendo los valores anteriores.

Además, debemos conocer las constantes de fricción de los diferentes accesorios, haciendo uso del cuadro 3.

Gráfico 1. Cálculo de la Rugosidad Relativa

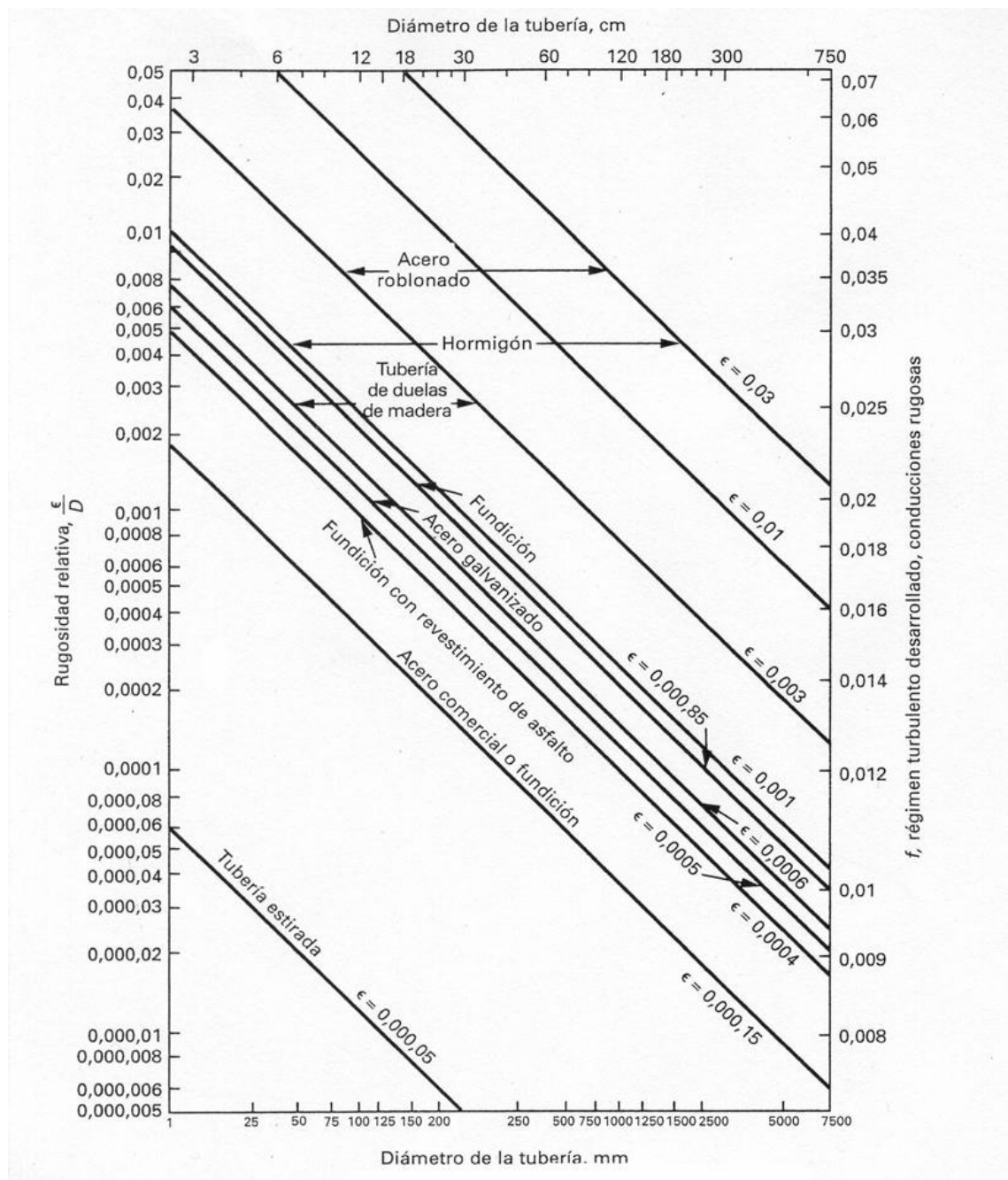


Gráfico 2. Diagrama de Moody. Cálculo del factor de fricción

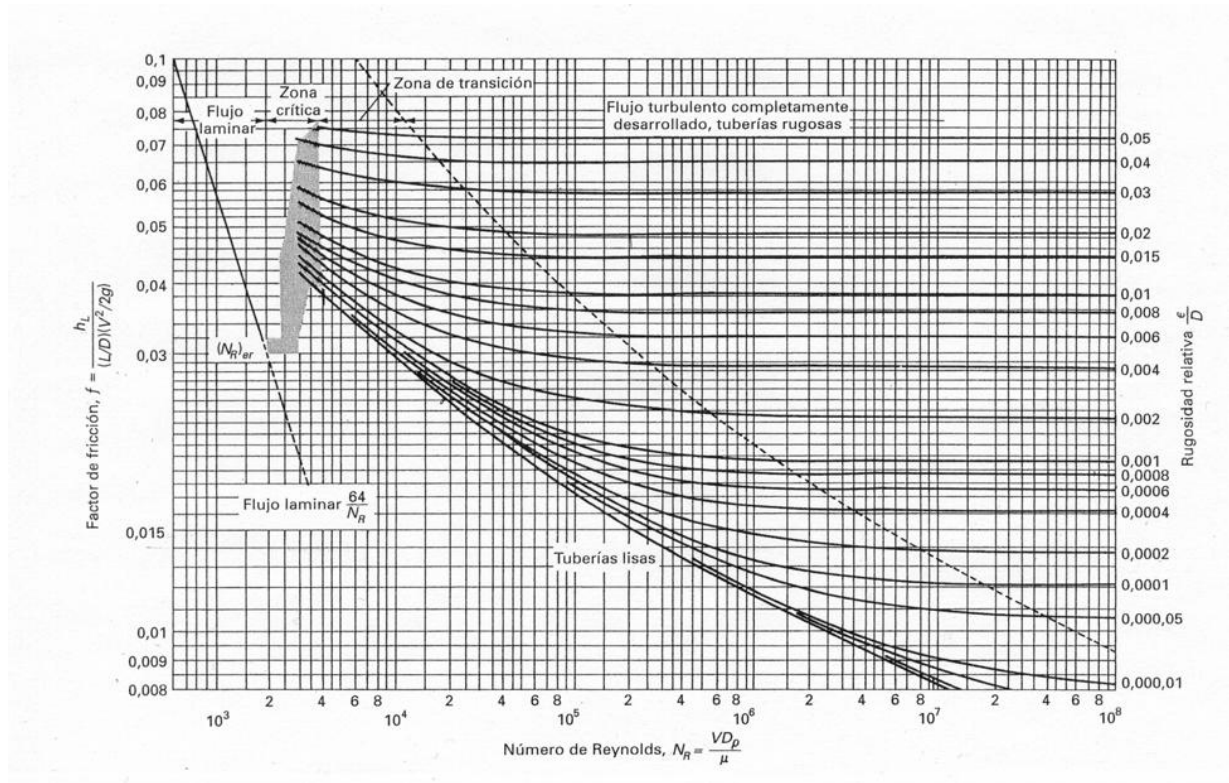
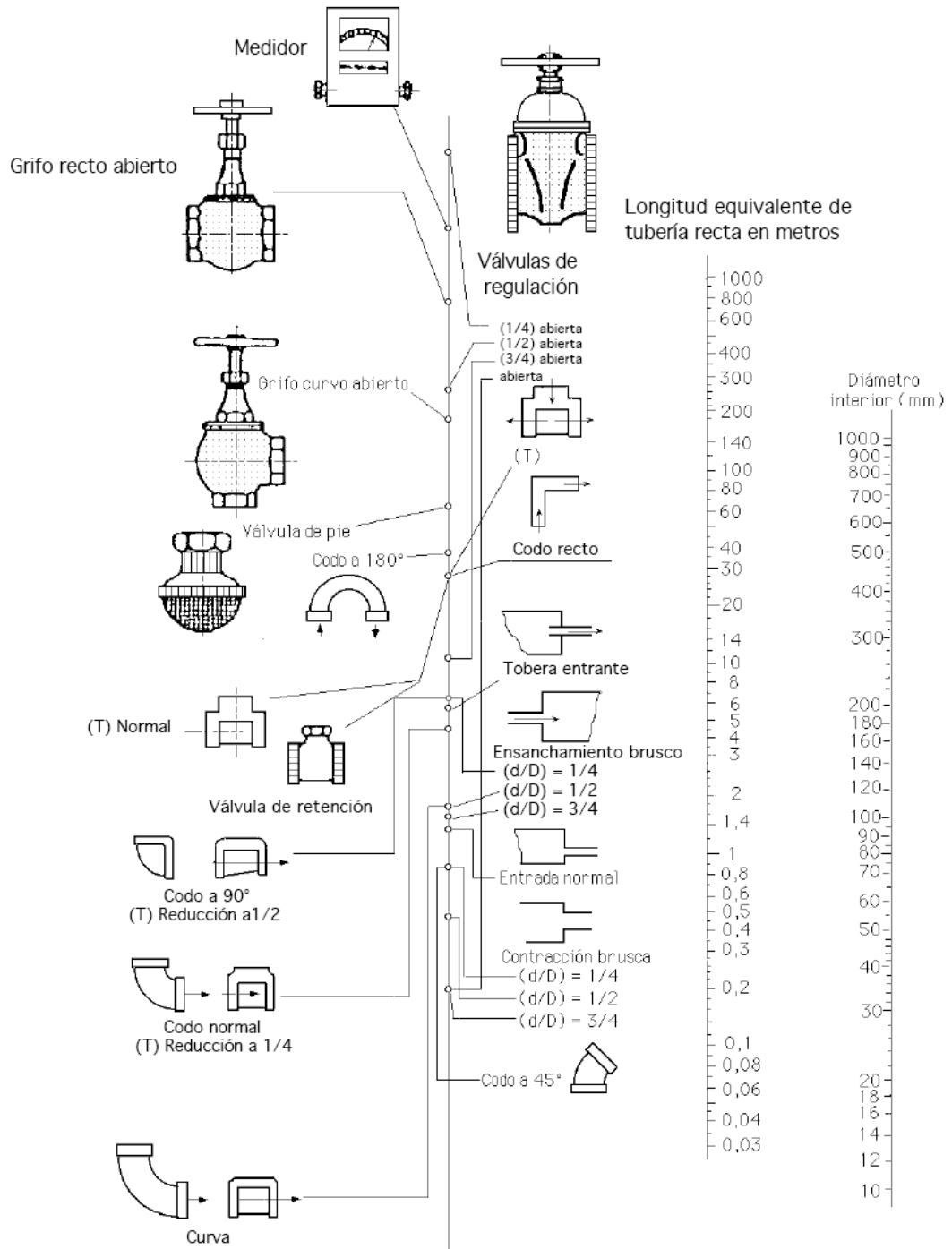


Gráfico 3. Factor de fricción en accesorios

ABACO PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS PERDIDAS DE CARGA EN ACCESORIOS
en metros de longitud de tubería equivalente



ANEXO 5: BOMBA DE FANGOS

La función de la misma es recoger los fangos sedimentados y situados en la poceta del decantador. Parte de los mismos se retira del sistema, como la purga de fangos, y la otra fracción, a la que se le ha llamado recirculado, es devuelta al tanque biológico.

Las bombas más utilizadas para el transporte del fango incluyen las bombas de émbolo, de cavidad progresiva, de pistón a alta presión y de émbolos rotativos. Además de centrifugas inatascables, de vórtice o de baja velocidad y flujo mixto.

Dependiendo de las características del fango, se utiliza un tipo u otro de bombas.

Por ejemplo, en el caso que nos ocupa, las características del fango pueden describirlo como fango activado de retorno o en exceso, con lo cual, la bibliografía, (MetCalf y Eddy, 1995), recomienda el uso de centrifugas no atascables, de cavidad progresiva, de pistón, de diafragma.

Pérdida de carga

La pérdida de carga producida en el bombeo del fango depende de las propiedades del flujo del fango, o reología, del diámetro de la conducción, y de la velocidad de circulación.

Además, se produce un aumento con el contenido de sólidos, con la mayor presencia de materia volátil, y con una disminución de la temperatura.

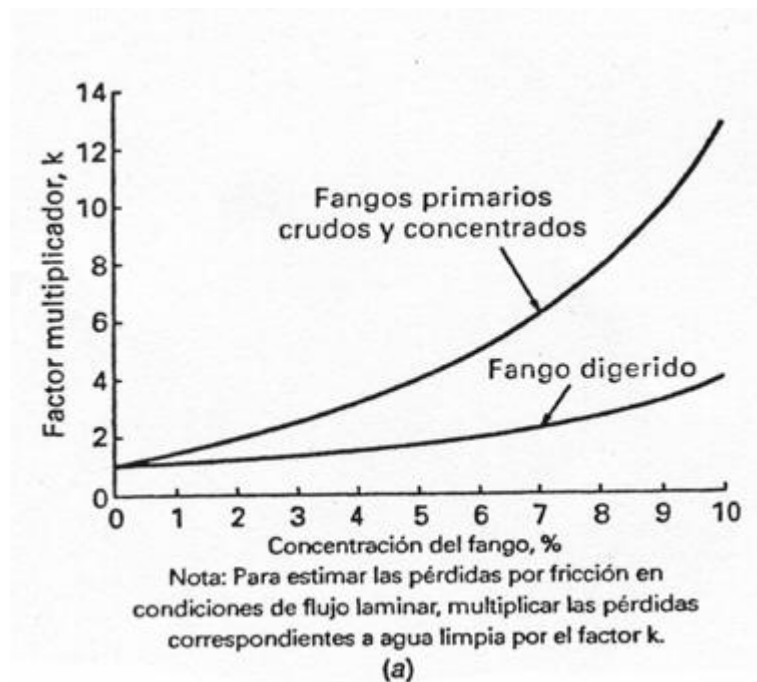
Las pérdidas de carga que se producen en el bombeo de fangos activados no concentrados pueden ser del orden del 10 al 25 por 100 superiores a las de las aguas.

Cálculo simplificado de la pérdida de carga

En el caso de conducciones para el transporte de fango de corta longitud, el cálculo de las pérdidas se realiza mediante procedimientos relativamente sencillos, y con la precisión adecuada.

Para determinar la pérdida de carga, el factor k , se obtiene a partir de curvas empíricas, como la figura siguiente, para un contenido de sólidos y un tipo de fango determinados.

Cálculo del factor multiplicador para estimación de pérdidas de carga en el transporte de fangos



MetCalf y Eddy Ed.1995

Las pérdidas de carga en el bombeo de fangos se calculan multiplicando la pérdida de carga producida con agua obtenida de las ecuaciones mencionadas anteriormente, por este factor k .

En el caso de estudio, se obtiene un fango con un contenido en sólidos de 1,5 %, correspondiente a un valor de k de 1.

El cálculo de las pérdidas de carga a través de dicha línea corresponde al sumatorio de:

- Pérdidas de carga producida en la tubería instalada, 28 m, DIN 125.
- 4 Codos de 90° DIN 125
- 1 válvula de bola.

- Pérdida de carga en la conducción:

Se instala una tubería de 125 mm AISI 125.

El coeficiente de rugosidad relativa se calcula conociendo el diámetro de la tubería haciendo uso del gráfico 1

Se calcula Re , y con el valor de rugosidad y haciendo uso del gráfico 2, calculamos f .

Con el valor de f , la longitud y velocidad correspondiente, se obtiene el valor de h_f .

Los valores de rugosidad relativa para los diferentes diámetros son:

<i>Diámetro nominal</i>	<i>Rugosidad Relativa</i>
16	0,0012
80	0,0004
125	0,0003
150	0,00022
200	0,00018
250	0,000084

Se consideraran los siguientes valores para densidad y viscosidad del agua a 15°C:

Temperatura °C	Peso específico kN/m ³	Densidad kg/m ³	Módulo de elasticidad E/10 ⁶ kN/m ²	Viscosidad dinámica $\mu \times 10^3$ N·s/m ²	Viscosidad cinemática $\nu \times 10^6$ m ^{2/s}	Tensión superficial σ N/m	Presión de vapor Pv kN/m ²
0	9,805	999,8	1,98	1,781	1,785	0,0765	0,61
5	9,807	1000,0	2,05	1,518	1,519	0,0749	0,87
10	9,804	999,7	2,10	1,307	1,306	0,0742	1,23
15	9,798	999,1	2,15	1,139	1,139	0,0735	1,70
20	9,789	998,2	2,17	1,022	1,003	0,0728	2,34
25	9,777	997,0	2,22	0,890	0,893	0,0720	3,17
30	9,764	995,7	2,25	0,798	0,800	0,0712	4,24
40	9,730	992,2	2,28	0,653	0,658	0,0696	7,38
50	9,689	988,0	2,29	0,547	0,553	0,0679	12,33
60	9,642	983,2	2,28	0,466	0,474	0,0662	19,92
70	9,589	977,8	2,25	0,404	0,413	0,0644	31,16
80	9,530	971,8	2,20	0,354	0,364	0,0626	47,34
90	9,466	965,3	2,14	0,315	0,326	0,0608	70,10
100	9,399	958,4	2,07	0,282	0,294	0,0589	101,33

Por tanto,

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} = \frac{999,1 \cdot 1 \cdot 0,125}{1,139 \cdot 10^{-3}} = 109.646,62$$

$$f (Re = 109646,62) = 0,019$$

- Pérdida de carga en accesorios:

4 Codos [(d/D) = 1/2] → $L_{eq} = 2$ m cada uno

1 Válvula de Bola (1/2 abierta) = 18 m

Por tanto, sustituyendo los valores en la expresión se obtiene:

$$h_f = f \cdot \left(\frac{L_{eq} + L}{D} \right) \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = 0,019 \cdot \left(\frac{18 + 8 + 28}{0,125} \right) \cdot \frac{1^2}{2 \cdot 9,8} = 0,42 \text{ m}$$

Sustituyendo en la ecuación de Bernoulli extendida:

$$\left(\frac{v_2^2}{2} - \frac{v_1^2}{2} \right) + g (Z_2 - Z_1) + h_f - W = 0$$

Considerando:

$$V_2 = 1 \text{ m/s.}$$

$$V_1 = 0 \text{ m/s.}$$

$Z_2 - Z_1$ = La descarga se produce en una tubería colocada a 1 m de la descarga, entrando al tanque biológico por la parte baja del mismo.

$$\left(\frac{1^2}{2} - \frac{0^2}{2} \right) + 9,8 (1) + 0,42 - W = 0 \quad , \quad W = 10,72 \text{ J / Kg}$$

Por lo tanto la potencia mínima a suministrar por la bomba, será:

$$P = W \cdot Q \cdot \rho$$

$$P = 10,72 \text{ J / Kg} \cdot 259,92 \text{ m}^3 / \text{ día} \cdot 1 \text{ día} / 86400 \text{ s} \cdot 999,1 \text{ Kg/m}^3$$

$$P = 32,22 \text{ W} = 0,033 \text{ kW.}$$

ANEXO 6: FICHA TÉCNICA EQUIPO FLITRACIÓN

FILTRO EDASAND® - 003

SERVICIO: Filtración de agua por gravedad.

CARACTERÍSTICAS:

Descripción:

Filtro de lecho de arena, y sistema de lavado del lecho en continuo, simultáneo al filtrado. Realizado en acero inoxidable AISI 316 en todos sus partes en contacto con el agua (NUCLEO) y en acero inoxidable AISI 304 o en PRFV en sus partes de soportaje no en contacto con el agua (RECIPIENTE).

Marca: EDARMA

Modelo: ED - 003

Capacidad de tratamiento (m^3/h): 22-37

Dimensiones filtro: Diámetro exterior cilindro (m): \varnothing 2,00
 Altura (m): 5,90

Conexiones: Entrada (mm): 150
 Salida (mm): 125
 Purga (mm): 60

Superficie útil de filtración (m^2): 3,14

Lecho filtrante: Granulometría (mm): • Tamaño máximo: 1,0
 • Tamaño mínimo: 0,8

Naturaleza: sílicea

Peso Arena (Tn): 12,0

Altura total Arena (m): 2,0

Peso aproximado: En vacío (Tn): 0,0
 En operación (Tn): 0,0

FILTRO EDASAND® - 003

Parámetros de funcionamiento:	Tiempo de parada en lavado:	cero
	Altura piezométrica (m):	de 0,0 a 0,0
	Caudal de aire para lavado (l/min):	20/40
	Corte de filtración (μ):	5
	Turbidez (con tratamiento previo completo) (NTU):	1/2
	Potencia eléctrica instalada (kw):	1,8

Espesor de las paredes del cilindro y cono en la versión Inox (mm): 4

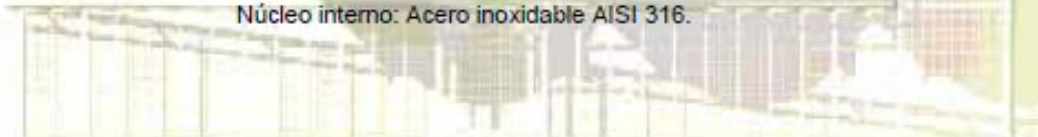
Perfiles de las patas: Cuadrado de 80x80x4mm INOX 304.

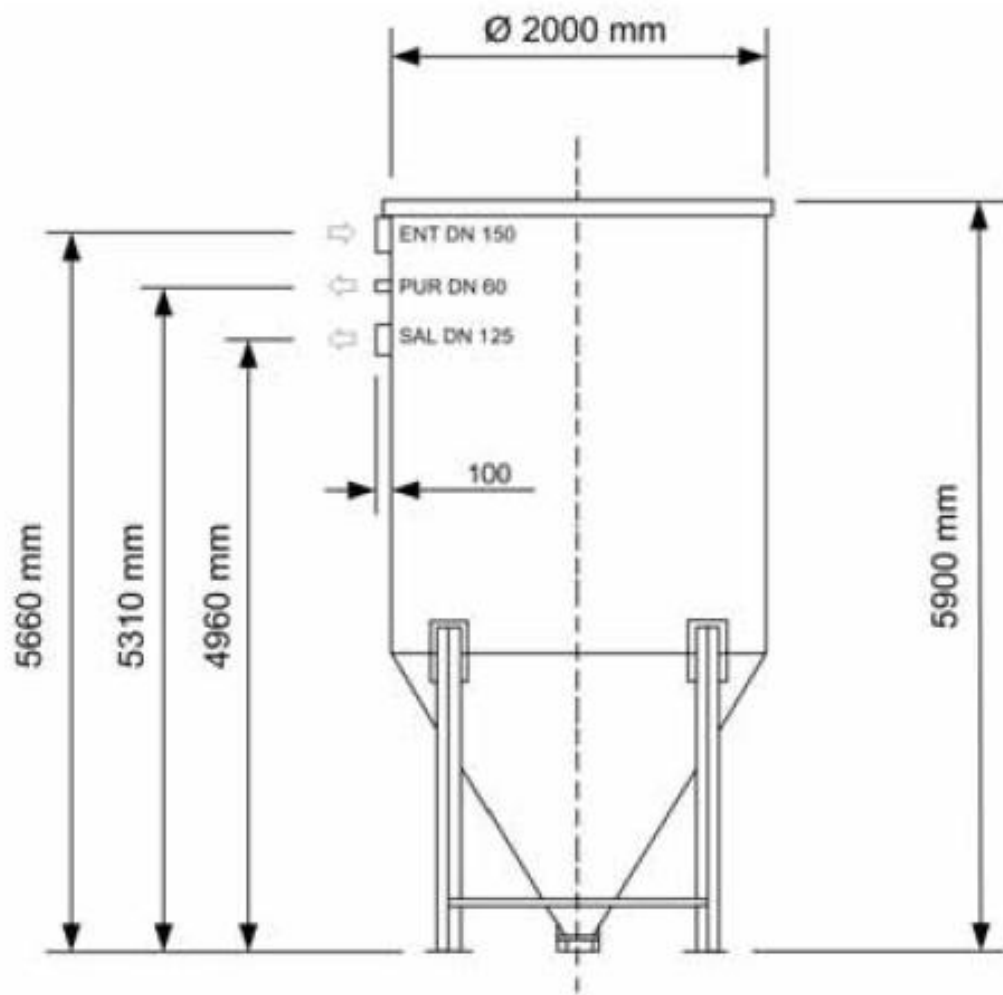
Estanqueidad: Mediante soldaduras TIG con gas inerte, maceadas para evitar tensiones, esmeriladas tanto exterior como interiormente, decapadas y pasivadas.

Acabado: 2B laminado en frío para piezas de espesor menor de 5 mm y laminado en caliente para el resto.

Soportaje del peso mediante 4 patas exteriores y el centro del cono, total 5 punto de apoyo.

Materiales:
Elementos en contacto con el agua: acero inoxidable AISI 316.
Elementos no en contacto con el agua: acero inoxidable AISI 304.
Núcleo interno: Acero inoxidable AISI 316.



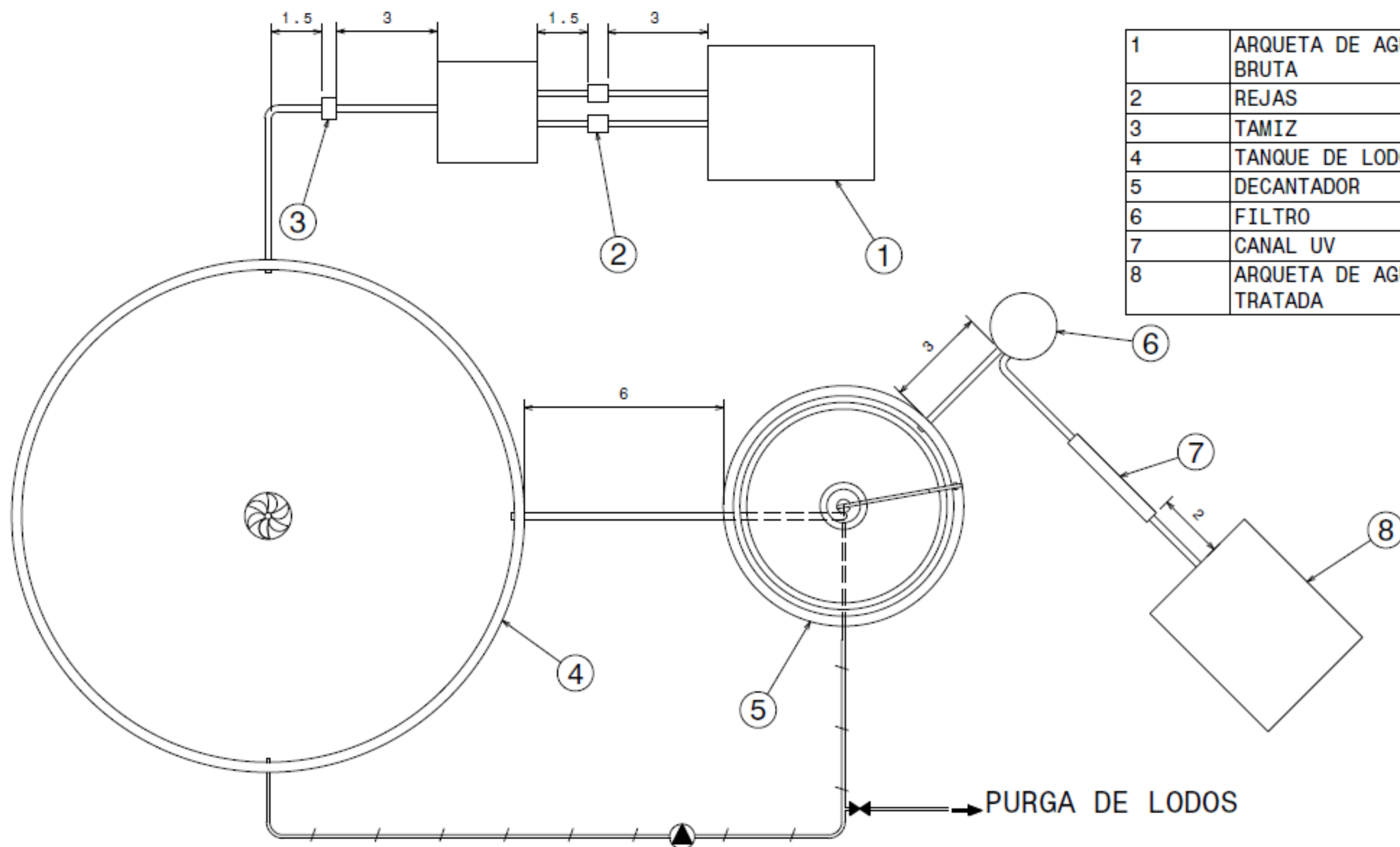


 edasand® - 003

MODELOS	DIMENSIONES		CONEXIONES (H)		
	DIÁMETRO (m)	H (m)	E (mm)	S (mm)	P (mm)
EDASAND® - 001	1,20	4,70	4460	3760	4110
EDASAND® - 002	1,50	5,60	5360	4660	5010
EDASAND® - 003	2,00	5,90	5660	4960	5310
EDASAND® - 004	2,50	6,00	5760	5060	5410
EDASAND® - 005	3,00	6,80	6560	5860	6210
EDASAND® - 006	3,50	7,20	7360	6660	7010

PLANOS

1. DISTRIBUCIÓN EN PLANTA.....Plano 1
2. UNIDAD DE LODOS ACTIVOS.....Plano 2
3. UNIDAD DE DECANTACIÓN..... Plano 3



1	ARQUETA DE AGUA BRUTA
2	REJAS
3	TAMIZ
4	TANQUE DE LODOS
5	DECANTADOR
6	FILTRO
7	CANAL UV
8	ARQUETA DE AGUA TRATADA



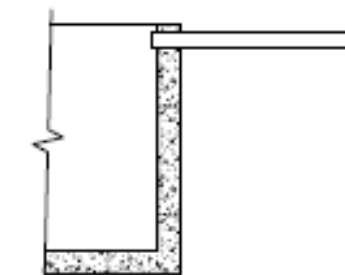
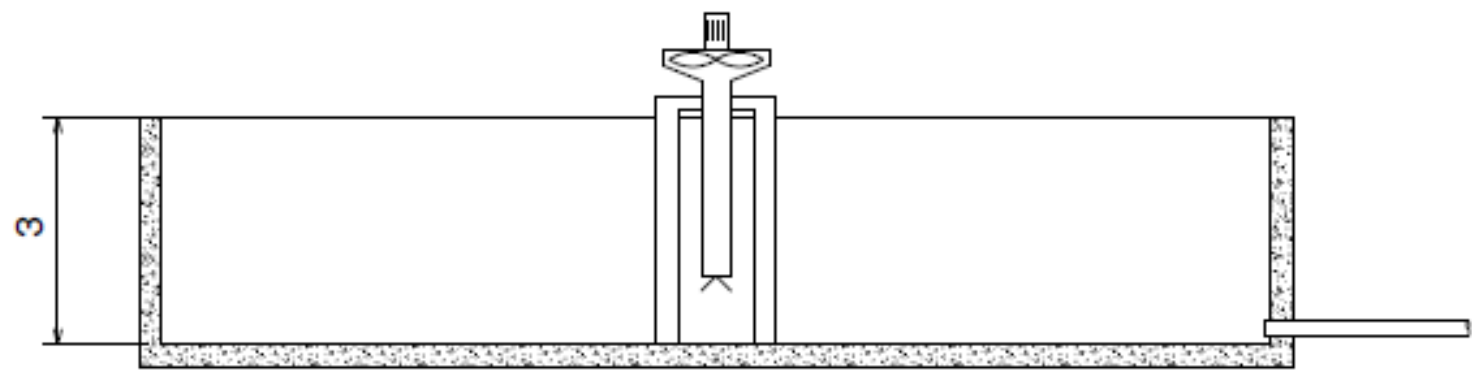
Paula
Sánchez Martínez

DISEÑO DE UNA ESTACIÓN DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES EN ZONA COSTERA CON TRATAMIENTO TERCIARIO PARA RIEGO DE CAMPO DE GOLF

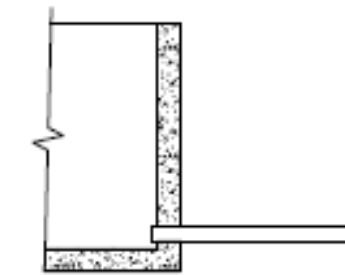
ESCALA 1:125

JUNIO-2011

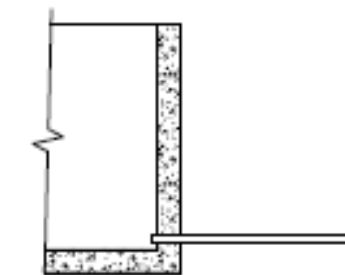
DISTRIBUCIÓN EN PLANTA



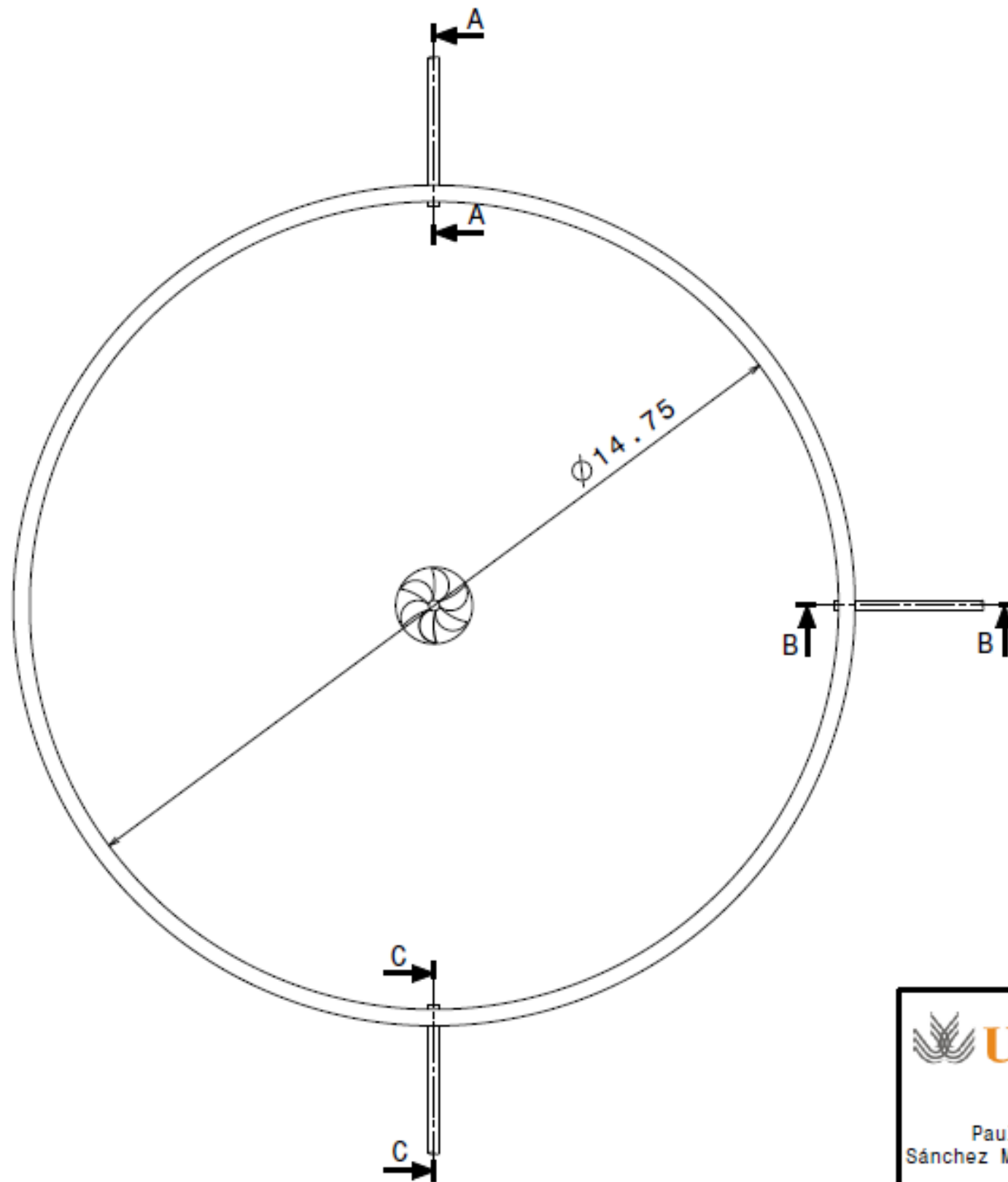
SECCIÓN A-A



SECCIÓN B-B



SECCIÓN C-C



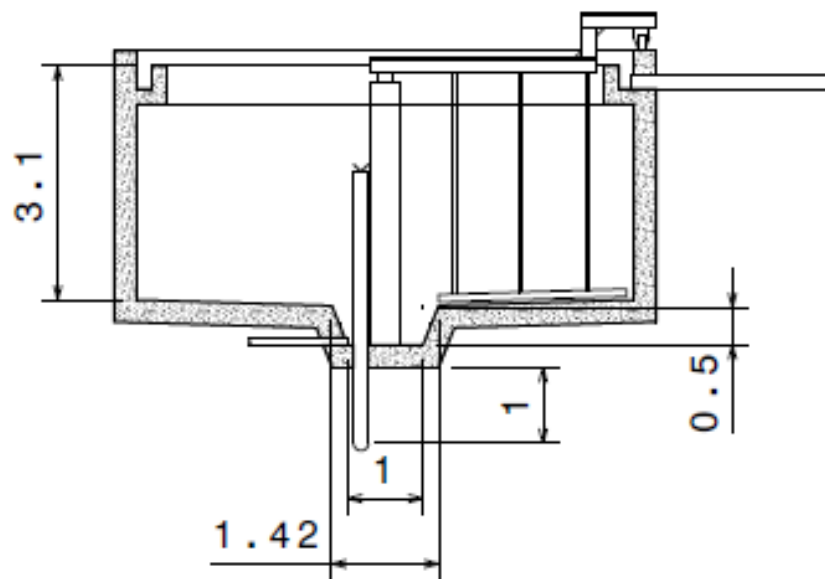
Paula
Sánchez Martínez

DISEÑO DE UNA ESTACIÓN DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES EN ZONA COSTERA CON TRATAMIENTO TERCIARIO PARA RIEGO DE CAMPO DE GOLF

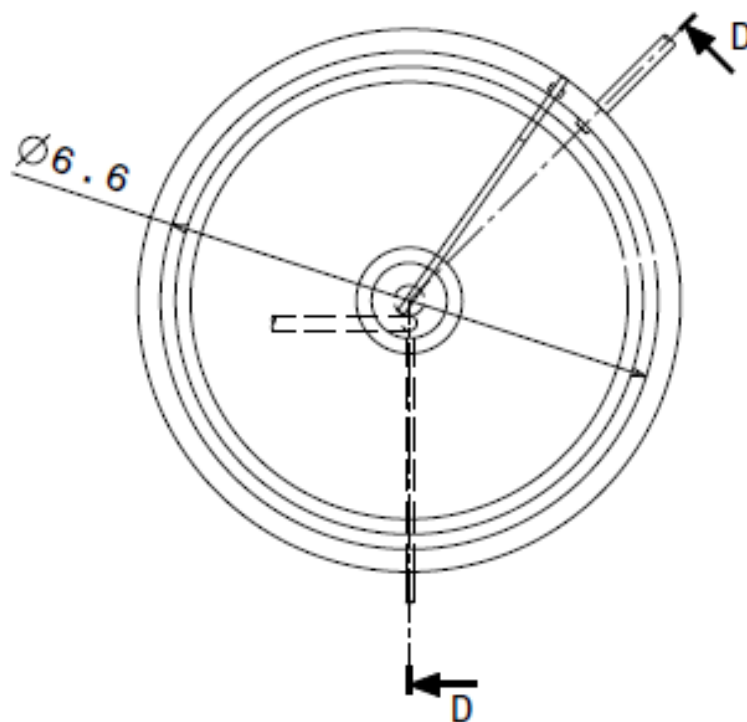
ESCALA 1:100

JUNIO-2011

UNIDAD DE LODOS ACTIVOS



SECCIÓN D-D



Paula
Sánchez Martínez

DISEÑO DE UNA ESTACIÓN DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES EN ZONA COSTERA CON TRATAMIENTO Terciario PARA RIEGO DE CAMPO DE GOLF

ESCALA 1:100

JUNIO-2011

UNIDAD DE DECANTACIÓN

PLIEGO DE CONDICIONES

1. OBJETIVO DE ESTE PLIEGO

1.1_Definiciones.....	pág.3
1.2_Generalidades sobre el proyecto.....	pág.5

2. CONDICIONES GENERALES

2.1_Intención del contrato.....	pág.7
2.2_Trabajo especial.....	pág.7
2.3_Documentos contractuales.....	pág.7
2.4_Perfeccionamiento del contrato.....	pág.7
2.4.1.Fianza definitiva.....	pág.8
2.4.2.Formalización del contrato.....	pág.8
2.5_Obligaciones Sociales: Seguridad y Salud.....	pág.8
2.6_Subcontratista o Destajista.....	pág.8
2.7_Permisos y Licencias.....	pág.10
2.8_Personal de obra.....	pág.10
2.9_Comienzo de las obras.....	pág.11
2.9.1.Obras defectuosas o mal ejecutadas.....	pág.12
2.9.2. Desarrollo y control de las obras.....	pág.12
2.9.3. Libro de órdenes.....	pág.13
2.10_Pruebas.....	pág.13
2.11_Control de calidad.....	pág.13
2.12_Gasto con carácter general a cuenta del contratista.....	pág.13

2.13_Medidas de seguridad y responsabilidades por daños y perjuicios.....	pág.15
--	---------------

3. PRESCRIPCIONES TÉCNICAS

3.1_Definición y alcance.....	pág.16
3.2_ Documentos que definen las obras.....	pág.17
3.3_ Compatibilidad y prelación entre documentos.....	pág.17
3.4_ Representación del contratista.....	pág.17
3.5_ Consideraciones sobre los materiales.....	pág.18
3.5.1.Procedencia.....	pág.18
3.5.2.Ensayos.....	pág.19
3.5.3.Acopio.....	pág.19

1. OBJETIVO DE ESTE PLIEGO

Se redacta este Pliego de Bases técnicas para establecer las bases y condiciones a las que deben ajustarse los Licitantes que presenten ofertas al Concurso de Concesión.

El objeto del pliego de condiciones es regular las relaciones entre las partes contratantes desde el punto de vista Técnico, Facultativo, Económico y Legal, y podrá ser aplicable a todas las obras incluidas en dicho proyecto.

1.1_Definiciones

Los términos siguientes que aparezcan en el contrato, se entenderán como sigue:

- Addendum: Disposiciones adicionales al contrato dictadas por escrito por la compañía propietaria, antes de la apertura de las propuestas.
- Propietario: Compañía que proyecta la ejecución de la Estación Depuradora, cuya autoridad representa su Director General o el representante autorizado de éste.
- Contratista principal: Empresa de Ingeniería responsable del diseño, puesta en marcha y supervisión total de la Estación Depuradora.
- Subcontratista: Empresas que prestan los servicios y los suministros requeridos para la construcción de la Estación Depuradora.
- Contratos o Documentos contractuales: Las diversas partes del contrato citadas en este Pliego, tanto su conjunto, como individualmente.
- Planos contractuales: Planos específicamente titulados así y relacionados en el Pliego de Condiciones, o cualquier Addendum o cualquier plano suministrado por la Compañía Propietaria como integrante o supletorio.
- Trabajo contractual: Trabajo cuyo suministro o ejecución se lo exija al Contratista por una o varias de las partes del contrato, excepto el trabajo extra descrito más adelante en este Pliego de Condiciones. Queda entendido que cualquier desacuerdo que ocurra en o entre una

o varias partes de este contrato, será el Propietario quien determine cuál de éstas seguirá.

- Ingeniero: Persona designada por el Propietario y/o el Contratista Principal y/o los Subcontratistas para actuar como tales en relación con el presente contrato, incluyendo ingenieros particulares según el contrato.
- Trabajo extra: Cualquier trabajo no incluido en el contrato en el momento de su ejecución.
- Proveedores: Cualquier persona, empresa o entidad excepto empleados del Contratista Principal, que contrate con el Contratista Principal o cualquier Subcontratista, la fabricación o entrega de maquinaria, materiales o equipo de incorporar al trabajo o que realmente realice dicha fabricación o entrega.
- Medios y Métodos de construcción: Se refiere a la mano de obra, materiales, estructuras provisionales, herramientas, maquinaria y equipo de la construcción y el modo y el tiempo de su ejecución, necesarios para completar este contrato.
- Obra: Los trabajos con el alcance descrito y que se refieren a este contrato.
- Zona de la obra: Área de la obra donde el Contratista Principal ejecutará el trabajo contratado y cualquier área adyacente designada como tal por el Propietario.
- Pliego de condiciones: Directrices, requisitos y normas de procedimientos, aplicables al trabajo detallado más adelante y estipulado en el Pliego de Condiciones Facultativas o cualquier otro documento o anexo incluido.
- Trabajo: El suministro y trabajos exigidos al Contratista Principal deberá incluir el trabajo contractual y el trabajo extra.
- Resto de equipos del Proceso: Cumplirán las especificaciones previstas en otros puntos, así como las normas de seguridad vigentes. La empresa adjudicataria del Proyecto se responsabilizará de su exacto cumplimiento.
- Certificación de materiales y pruebas de funcionamiento: El Contratista Principal proporcionará al Propietario siete copias de los certificados de

materiales, con características físicas y químicas, si suministra por su parte, cualquiera de los materiales.

El Contratista Principal será responsable de las inspecciones y deberá estar presente en las pruebas hidrostáticas y de funcionamiento de todo el equipo (o sus partes componentes) y de su suministro.

1.2_ Generalidades sobre el proyecto

El proyecto será uno de los documentos a presentar al concurso en la forma definida en el Pliego de Cláusulas Administrativas Particulares y el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares. Incluirá todas las obras necesarias para un perfecto funcionamiento y conservación de las instalaciones, de modo que constituyan una obra completa susceptible de ser entregada al servicio público.

Todos los permisos necesarios para la realización del proyecto serán gestionados por el concursante con el apoyo de la Administración, que así mismo, podrá facilitar si le es posible, cualquier información adicional que se le solicite, sin que ello presuponga compromiso alguno para ella.

El concursante deberá considerar en el proyecto el suministro, transporte, montaje y puesta a punto de las instalaciones, así como la asistencia técnica durante las pruebas de funcionamiento, de acuerdo con las condiciones establecidas en este Pliego de Bases.

Deberá también proyectar todas las obras civiles y edificios necesarios para las instalaciones hasta los límites señalados a continuación.

Asimismo, el proyecto y, por tanto la oferta, deberá incluir el estudio y valoración de las unidades de obra que sea necesario ejecutar para modificar los servicios que puedan ser afectados por causa de las obras. Cualquier afectación en este sentido, no reflejada en la oferta, deberá ser asumida por el Contratista, sin compensación económica de ningún tipo.

Además de satisfacer los requisitos de este Pliego de Bases, el Proyecto deberá adaptarse a la mejor práctica corriente de Ingeniería.

El Proyecto, dimensiones y materiales de todos los componentes deberán ser tales, que no sufran el menor daño como consecuencia de

sobrecargas, bajo las condiciones de trabajo más severas, no excepcionales. Los materiales empleados en la construcción serán de alta calidad y especialmente seleccionados para realizar las funciones que se requieran de ellos.

Todos los componentes que realicen funciones iguales en la Estación depuradora deberán ser intercambiables.

El proceso se dimensionará para reducir al máximo la producción de olores. Se evitarán, por tanto, largos tiempos de estancia a caudales bajos, posibles condiciones de septicidad, zonas de posible situación anaerobia incontrolada, etc., y se prevendrán medidas para combatirlos.

Igualmente se tomarán las precauciones necesarias para evitar la proliferación de moscas, insectos, parásitos, cuidando al máximo la facilidad de limpieza de todas las zonas.

Se cuidará de que los equipos seleccionados no produzcan vibraciones, trepidaciones o ruidos por encima de los niveles máximos admitidos disponiendo los aislamientos acústicos necesarios.

Se cuidará que las instalaciones se adecuen estéticamente al entorno.

El concursante tendrá en cuenta en la definición de los procesos y operaciones unitarias, aquellas tecnologías que signifiquen un ahorro energético y/o en los gastos de explotación de la depuradora.

Las instalaciones deberán reunir las condiciones máximas de seguridad, adecuadas a este tipo de obras, en cuanto a incendios, descargas eléctricas, inundaciones, seguridad de los operarios, etc., disponiendo de los servicios sanitarios y de socorro convenientes.

El conjunto de las instalaciones debe presentar un aspecto higiénico y agradable, debiendo tenerse en cuenta, especialmente, la posibilidad de visitas de grupos de personas.

1. CONDICIONES GENERALES

2.1_ Intención del contrato

La intención del contrato es prescribir una obra completa y otros trabajos del contrato conforme a lo indicado en los Planos, Pliego de Condiciones, Condiciones Especiales, Presupuesto y Contrato.

El Contratista Principal y/o los Subcontratistas deberán ejecutar todo el trabajo conforme a las líneas, rasantes, secciones, tipo, dimensiones y demás informaciones indicadas en los Planos o en las modificaciones hechas por orden escrita, incluyendo el suministro de todo el material, instrumentos, maquinaria, equipos, herramientas, transporte personal y demás cosas necesarias para la ejecución y terminación del trabajo.

2.2_ Trabajo especial

Si fuera necesario ejecutar construcciones o remediar condiciones no incluidas en los Planos, Pliegos de Condiciones o Condiciones Especiales, el Propietario preparará un Pliego de Condiciones Complementarias para dicho trabajo y éste se considerará como del Pliego de Condiciones.

En el caso de que el Pliego de Condiciones Complementarias esté en desacuerdo con otro documento contractual, prevalecerá el texto de Condiciones Complementarias.

2.3_ Documentos contractuales

Excepto el título, subtítulos, epígrafes, índices y materias o índices cuya inclusión se hace simplemente para mayor comodidad del lector, se considerarán como parte de los contratos las siguientes, salvo aquellas de sus partes que expresamente se excluyan:

- Anuncio.
- Las bases del concurso.
- La propuesta.
- La fianza provisional.
- El Pliego de Condiciones Complementarias.

- El Pliego de Condiciones Generales.
- El Pliego de Condiciones Facultativas.
- La fianza definitiva.
- El Contrato.
- Los planos contractuales.
- Todos los apéndices emitidos por el Propietario antes de la apertura de propuestas.
- Todas las disposiciones cuya inclusión en el contrato sea legalmente obligatoria, tanto si se han incluido como si no.
- El aviso de adjudicación.

2.4_ Perfeccionamiento del contrato

2.4.1.Fianza definitiva

El adjudicatario estará obligado a prestar una fianza definitiva del diez por ciento del importe de su oferta, bien mediante depósitos en metálico o títulos de la Deuda, bien mediante aval entregado por un Banco, oficial o privado inscrito en el Registro General de Bancos y Banqueros, de conformidad con los requisitos que establece la ley de 22 de Diciembre de 1960 y disposiciones complementarias.

La fianza podrá ser otorgada por persona o entidad distinta del adjudicatario entendiéndose, en todo caso, que la garantía queda sujeta a las mismas responsabilidades que si fuera constituida por él mismo.

En caso de amortización o sustitución total o parcial de valores o modificación de las condiciones de aval bancario que constituya la fianza definitiva, el adjudicatario estará obligado a mantener en todo momento el importe de la garantía, debiendo quedar constancia documentada de cualquier modificación que se produzca.

Durante el desarrollo del contrato, el Propietario retendrá a los mismos efectos de fianza, el diez por ciento del importe de las certificaciones. Esta retención será devuelta al empresario en las

condiciones que se indican en el artículo 3.8.4 Período de garantía. Del presente documento.

2.4.2. Formalización del contrato

El adjudicatario queda obligado a suscribir dentro del plazo de quince días hábiles, contados desde la fecha en que se haya acreditado la constitución de la fianza definitiva, el correspondiente documento de contrato. Son de cuenta del adjudicatario los gastos e impuestos derivados de la licitación y de la formalización del contrato y cuantos otros existan legalmente establecidos.

2.5_ Obligaciones Sociales: Seguridad y Salud

El contratista estará obligado al cumplimiento de lo dispuesto en la Ley 31/1995, de 8 de Noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, en el Real Decreto 1627/1997, de 24 de Octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción.

Además de estar sujeto a las disposiciones legales de carácter social, de protección a la Industria Nacional, y normativa existente actual al plazo de ejecución de la obra.

2.6_ Subcontratista o Destajista

El Adjudicatario o Contratista general, podrá dar a destajo en subcontrato, cualquier parte de la obra, pero con la previa autorización de la Dirección Facultativa, estando facultados para decidir la exclusión de un destajista, por ser el mismo incompetente o no reunir las condiciones necesarias. Comunicada esta decisión al contratista, éste deberá tomar las medidas precisas e inmediatas para la rescisión de este contrato.

El contratista será siempre responsable de todas las actividades del destajista y de las obligaciones derivadas del cumplimiento de las condiciones expresadas en este Pliego.

2.7_ Permisos y Licencias

El contratista principal conseguirá todos los permisos y licencias exigidas por la Ley, pagará los cargos, gastos e impuestos, y dará los avisos necesarios para la debida prosecución de la obra.

2.8_ Personal de obra

La correcta ejecución de la obra contratada estará sometida permanentemente a la inspección, comprobación y vigilancia del Director de Obra, designado al efecto por el Propietario. Para desempeñar su función, el director de obra podrá contar con colaboradores que, junto con este, integrarán la Dirección Facultativa de la obra.

La Dirección Facultativa de las obras tendrán las siguientes funciones:

- Verificar el replanteo y cuidar que las obras se realicen con estricta sujeción al proyecto aprobado o modificaciones debidamente autorizadas, así como el cumplimiento del programa del trabajo.
- Resolver las contingencias que se produzcan en la obra y consignar en el libro de órdenes y asistencias las instrucciones precisas para la correcta interpretación del proyecto.
- Elaborar, a requerimiento del Propietario o su conformidad, eventuales modificaciones del proyecto, que vengan exigidas por la marcha de la obra, adaptadas a las disposiciones normativas contempladas en el proyecto.
- Suscribir el acta de recepción de la obra, así como conformar las certificaciones parciales y la liquidación final de las unidades de obra ejecutadas.

El contratista es la parte contratante que asume el compromiso de ejecutar las obras con medios humanos y materiales, propios o ajenos, con sujeción al proyecto y al contrato.

Sin perjuicio de lo establecido en el RDL 2/2000, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Contratos de las Administraciones Públicas y en

el Pliego de Cláusulas Administrativas Generales para la Contratación de Obras del Estado, serán obligaciones del constructor:

- Ejecutar la obra con sujeción al proyecto, a la legislación aplicable y a las instrucciones de la dirección Facultativa de la Obra.
- Mantener permanentemente en la obra un delegado o encargado suficientemente capacitado a juicio de la Dirección Facultativa.
- Redactar el plan de Seguridad y Salud, antes del inicio de las obras, y notificar a la autoridad laboral competente la apertura del centro de trabajo.
- Asignar los medios humanos y materiales que la obra requiera.
- Firmar el acta de comprobación del replanteo y el acta de recepción de la obra.
- Realizar, a su costa, cuantos replanteos sean necesarios para la correcta ejecución de sus obras.
- Facilitar a la Dirección Facultativa de la obra los datos necesarios para la elaboración de la documentación que se considere oportuna por parte del propietario.

Además, el Contratista adjudicatario estará obligado a dar a la Dirección Facultativa, toda clase de facilidades para el desarrollo de su función de comprobación, coordinación y vigilancia de la correcta realización de los trabajos contratados.

2.9 _ Comienzo de las obras

Las obras objeto del presente proyecto, se iniciarán al día siguiente de la fecha del Acta de Replanteo, empezando a contar el plazo a partir de dicha fecha.

En el periodo comprendido entre la adjudicación definitiva y la de replanteo de las obras, el Contratista podrá, bajo su responsabilidad, proceder a la organización general de las mismas, gestión de suministros de materiales y medios auxiliares necesarios y, en general, a todos los trámites previos necesarios para una vez comenzada la obra, no se vea interrumpida por los obstáculos derivados de una deficiente programación.

2.9.1. Obras defectuosas o mal ejecutadas

Una vez comenzada la obra, el Director de Obra comprobará el cumplimiento del programa de Puntos de Inspección y lo registrará en las Hojas de control de calidad.

Si el resultado del punto de control no fuera conforme, el Director de Obra ordenará la ejecución de las medidas correctoras pertinentes y controlará su correcta ejecución en la correspondiente Hoja de Control de Ejecución.

Si el director de Obra estimara aceptar la parte de la obra controlada y no conforme por cualquier causa justificada, lo propondrá razonablemente al Comité de control de calidad del propietario, que resolverá sobre el particular.

Si la resolución resulta positiva, la Dirección Facultativa fijará el precio a abonar por la misma en función del grado de deficiencia.

2.9.2. Desarrollo y control de las obras

El Contratista, antes del comienzo de las obras, deberá someter a la aprobación del propietario un plan de trabajo con indicación de los plazos parciales y fechas de terminación de las unidades de obra, compatible con el plazo total fijado para ellas. Este plan se someterá a la aprobación de la Dirección facultativa y si, esta se produce, adquirirá carácter contractual.

Asimismo, el Contratista presentará una relación completa de los servicios y maquinaria y su compromiso de utilización en cada una de las etapas del plan.

Los medios quedarán adscritos a las obras sin que, en ningún caso, el contratista pueda retirarlos sin autorización de la Dirección facultativa.

El contratista está obligado a aumentar los medios auxiliares propuestos siempre que la Dirección Facultativa compruebe que ello es necesario para cumplir con los plazos previstos.

La aceptación del plan y de los medios auxiliares propuestos no implicará exención de la responsabilidad del cumplimiento de los plazos convenidos.

2.9.3. Libro de órdenes

El libro de órdenes será diligenciado por el Propietario, se abrirá en la fecha de comprobación del replanteo y se cerrará en la de la recepción de la obra.

Durante dicho espacio de tiempo estará a disposición de la Dirección Facultativa, que cuando considere oportuno anotará ordenes, instrucciones o las comunicaciones que estime, autorizándolas con su firma.

2.10_ Pruebas

El contratista o su representante, deberá presenciar los ensayos, para lo cual se le avisará con suficiente antelación.

Los materiales serán reconocidos y aceptados por la Dirección facultativa, quedando a su criterio rechazarlos si no cumplieran con las condiciones exigidas, que se comprobarán en el Laboratorio de Materiales que ella designe.

Los proveedores deberán aportar el “ Certificado de prueba de fábrica”, y todo aquello que certifique la idoneidad de los materiales a utilizar (homologaciones, timbres, sellos de conformidad..)

El resultado de las pruebas de la obra, que deben ser ejecutadas en presencia de representantes de la Dirección Facultativa y del Contratista, se recogerá en la correspondiente Hoja de Control de Ejecución.

El Propietario visará las “Hojas de Control de Ejecución” una vez cumplimentadas por el Director de la Obra.

Dicho visado será imprescindible para la recepción de las obras.

2.11_ Control de calidad

Con independencia de las pruebas, ensayos y control que el Contratista deba realizar, de acuerdo con los documentos de este proyecto, la dirección

Facultativa efectuará un control de calidad de los materiales empleados y de la ejecución de las distintas unidades de la obra, siguiendo un programa de puntos de inspección elaborado expresamente para esta obra por el Director de la Obra y aprobado por el propietario. El cumplimiento de dicho plan será registrado en las “Hojas de Control de Ejecución”.

Las inspecciones, mediciones, controles, pruebas, ensayos y análisis pueden ser realizados directamente por el director de Obra, por el personal a su servicio, o por empresa o laboratorio externo contratado al efecto. El técnico que la dirección Facultativa designe como a las factorías e instalaciones fijas ó móviles que el Contratista emplee para la fabricación de los materiales a emplear.

2.12_ Gastos con carácter general a cuenta del contratista

Sin perjuicio de los gastos recogidos en el Pliego de Prescripciones Administrativas Particulares, aprobado por el propietario, que rigen la contratación de la obra, el contratista está obligado a costear los siguientes gastos de obra:

- Instalaciones y medios auxiliares
- Construcción, desmontaje y retirada de toda clase de construcciones

Auxiliares

- Alquiler o adquisición de terrenos para el acopio de maquinarias o materiales.
- Daños por incendio, cumpliendo todos los requisitos vigentes para el almacenamiento de carburantes.
- Evacuación y limpieza de desperdicios y basuras.
- Señalización y equipos de seguridad aplicables a la obra.
- Retirada de materiales, herramientas, instalaciones auxiliares.

Igualmente, está obligado a costear otros gastos que a continuación se relacionan:

- Los que origine el replanteo general de la obra y su comprobación.
- Los que originen los replanteos parciales de las obras.
- Los de ensayos y control de obras que ordene la Dirección Facultativa.
- Los del cartel informativo conforme al programa de identidad.

2.13_Medidas de seguridad y responsabilidades por daños y perjuicios

Antes del inicio de la obra, el Contratista elaborará un plan de seguridad y salud en el que se analicen, estudien, desarrollen y complemente las previsiones contenidas en el estudio Básico de seguridad y salud, en función de su propio sistema de ejecución de la obra.

El Contratista estará obligado a contratar un seguro de responsabilidad civil que cubra todos los posibles accidentes que puedan ocurrir en la obra, incluidos los originados por la defectuosa ejecución de la obra.

Por su parte la Dirección facultativa podrá solicitar el justificante del seguro en cualquier momento.

Será de cuenta del Contratista las indemnizaciones a que hubiera lugar perjuicios ocasionados a terceros como consecuencia de accidentes por señalización defectuosa o insuficiente.

Asimismo, será de cuenta del Contratista las indemnizaciones a que hubiera lugar perjuicios ocasionados a terceros por interrupción de servicios públicos o privados, daños causados en sus bienes por aperturas de zanjas, explanaciones, desvíos de cauce, explotación para obtención de préstamos, depósito de maquinarias o materiales, siempre que no sea objeto de abono en el presente proyecto.

3. PRESCRIPCIONES TÉCNICAS

3.1_Definición y alcance

Estas prescripciones Técnicas particulares tienen por objeto definir las prescripciones que han de regir en la ejecución de las obras comprendidas en el Proyecto de la Estación Depuradora de Aguas Residuales para el municipio de Medina Sidonia.

Serán también de aplicación los Pliegos, Instrucciones, Normas y Prescripciones, oficiales o no, que se citan en los distintos artículos de este Pliego, en la forma que para cada uno de ellos se establece.

3.2_ Documentos que definen las obras.

• Documentos contractuales.

Los documentos que se incorporan al Contrato como documentos contractuales son los siguientes:

- Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares.
- Cuadro de precios.
- Pliego de Condiciones.
- Planos.

• Documentos informativos.

Los datos sobre la procedencia de materiales, condiciones locales, diagramas de movimiento de tierras, de maquinaria, de programación, de condiciones climáticas, de justificación de precios y en general, todos los que se incluyen en la Memoria, y demás documentos no contractuales del Proyecto, son documentos informativos.

Dichos documentos representan una opinión fundada del autor del Proyecto. Sin embargo, ello no supone que el mismo se responsabilice de la certeza de los datos que se suministran y, en consecuencia, deberán aceptarse tan solo como complemento de la información que el Contratista adquirirá directamente.

3.3_ Compatibilidad y prelación entre documentos.

En cualquier caso, las contradicciones, omisiones o errores que pudiesen advertirse en estos documentos por la Administración o por el Contratista, deberán consignarse, con su posible solución, en el Acta de Replanteo y/o en el Libro de Órdenes. Los errores materiales que pudieran contener el Proyecto o presupuesto elaborado por el propietario no anulará el contrato, salvo que sean efectuadas las oportunas reservas por cualesquiera de las partes en un plazo no mayor de 2 meses, computados a partir de la firma del acta de comprobación de replanteo y , además, afecten al importe del presupuesto de la obra en el porcentaje que establezca el pliego de condiciones administrativas o particulares. Caso contrario, los errores solo darán lugar a su rectificación.

Lo mencionado en este pliego y omitido en los planos o viceversa, habrá de ser ejecutado como si estuviera expuesto en ambos documentos. En caso de contradicción ambos prevalecerá lo establecido en el pliego de prescripciones técnicas.

Los precios de las unidades de obra así como de los materiales o mano de obra que no figuren en los contratados, se fijarán contradictoriamente ente la Dirección Facultativa y el Contratista. Estos precios se harán sobre la base de los precios utilizados en el proyecto, con la aplicación de la baja que hubiera realizado el Contratista y fuera condición del contrato.

En todo caso, la Dirección Facultativa resolverá unilateralmente las dudas que pudieran surgir de la interpretación de los posibles documentos del proyecto.

3.4_ Representación del contratista.

El contratista designará una persona que asuma la dirección de los trabajos que se ejecutan como delegado suyo ante la Administración, a todos los efectos, durante la ejecución de las obras y periodo de garantía.

El delegado del Contratista tendrá una titulación técnica con experiencia profesional suficiente para el cumplimiento de su misión. Deberá residir en población próxima a la zona en que se desarrollan los trabajos y no podrá ser sustituido sin previo conocimiento de la administración.

3.5_ Consideraciones sobre los materiales

3.5.1. Procedencia

Los materiales que hayan de constituir parte integrantes de las unidades de la obra definitiva, los que el Contratista emplee en los medios auxiliares para su ejecución, así como los materiales de aquellas instalaciones y obras auxiliares que total o parcialmente hayan de formar parte de las obras objeto del contrato, tanto provisionales como definitivas, deberán cumplir las especificaciones establecidas en este Pliego de Condiciones.

El Director definirá, de conformidad con la normativa oficial vigente, las características de aquellos materiales para los que no figuren especificaciones correctas en este Pliego de Condiciones de forma que puedan satisfacer las condiciones de funcionalidad y de calidad de la obra a ejecutar establecidas en contrato.

El Contratista notificará a la Dirección con la suficiente antelación la procedencia y características de los materiales que se propone utilizar a fin de que la Dirección determine su idoneidad.

La aceptación de las procedencias propuestas será requisito indispensable para que el Contratista pueda iniciar el acopio de los materiales en la obra, sin perjuicio de la potestad de la Administración, para comprobar en todo momento de manipulación, almacenamiento o acopio que dicha idoneidad se mantiene.

Cualquier trabajo que se realice con materiales de procedencia no autorizada podrá ser considerado como defectuoso.

Si durante las excavaciones de las obras se encontraran materiales que pudieran emplearse con ventaja técnica o económica sobre los previstos, la Dirección podrá autorizar el cambio de procedencia.

En los casos en que el Pliego de Condiciones no fijara determinadas zonas o lugares apropiados para la extracción de materiales a emplear en la ejecución de las obras el Contratista los elegirá bajo su única responsabilidad y riesgo.

Los productos industriales de empleo en la obra se determinaran por sus calidades y características, sin poder hacer referencia a marcas, modelos o denominaciones específicas.

Si en los documentos contractuales figurase alguna marca de un producto industrial para designar a este, se entenderá que tal mención se constriñe a las calidades y características de dicho producto, pudiendo el Contratista utilizar productos de otra marca o modelo que tengan las mismas.

El Contratista deberá presentar, para su aprobación, muestras, catálogos y certificados de homologación de los productos industriales y equipos identificados por marcas o patentes.

Si la Dirección considerase que la información no es suficiente, el Director podrá exigir la realización, a costa del contratista, de los ensayos y pruebas que estime convenientes. Cuando se reconozca o demuestre que los materiales o equipos no son adecuados para su objeto, el Contratista los reemplazará, a su costa, por otros que cumplan satisfactoriamente el fin a que se destinan.

3.5.2. Ensayos

Previamente a la ejecución de la obra deberá desarrollarse un Programa del Control de Calidad de la misma, de acuerdo con sus características particulares. Servirá de base para su confección lo indicado al respecto en el presente Pliego de Condiciones.

La calidad de los materiales que hayan sido almacenados o acopiados deberá ser comprobada en el momento de su utilización para la ejecución de la obras, mediante las pruebas y ensayos correspondientes, siendo rechazados los que en ese momento no cumplan las prescripciones establecidas.

3.5.3. Acopio

El Contratista está obligado a acopiar en correctas condiciones los materiales que requiera para la ejecución de la obra en el ritmo y calidad exigidos por el Contrato.

El Contratista deberá prever el lugar, forma y manera de realizar los acopios de los distintos tipos de materiales y de los productos procedentes

de excavaciones para posterior empleo, siguiendo las indicaciones que pudiera hacer el Director.

La Administración se reserva el derecho de exigir del Contratista el transporte y entrega en los lugares que aquel indique de los materiales procedentes de excavaciones, levantados o demoliciones que considere de utilidad.

El Contratista propondrá al Director, para su aprobación, el emplazamiento de las zonas de acopio de materiales, con la descripción de sus accesos, obras y medidas que se propone llevar a cabo para garantizar la preservación de la calidad de los materiales.

Las zonas de acopio deberán cumplir las condiciones mínimas siguientes:

- No se podrán emplear zonas destinadas a las obras.
- Deberán mantenerse los servicios públicos o privados existentes.
- Estarán provistos de los dispositivos y obras para la recogida y evacuación de las aguas superficiales.
- Los acopios se dispondrán de forma que no se merme la calidad de los materiales, tanto en su manipulación como en su situación de acopio.
- Se adoptarán las medidas necesarias en evitación de riesgo de daños a terceros.
- Todas las zonas utilizadas para acopio deberán quedar al término de las obras, en las mismas condiciones que existían antes de ser utilizados como tales.
- Será de cuenta y responsabilidad del Contratista, la retirada de todos los excedentes de material acopiado.
- Será de responsabilidad y cuenta del Contratista, la obtención de todos los permisos, autorizaciones, pagos, arrendamiento, indemnizaciones y otros que deba efectuar por concepto de uso de zonas destinadas para acopios y que no correspondan a terrenos puestos a disposición del Contratista por la Administración.

PRESUPUESTO GENERAL

1. COSTES OBRA CIVIL.....	pág.2
2. COSTES EQUIPOS INSTALADOS.....	pág.3
3. COSTES CONEXIÓN ENTRE EQUIPOS: TUBERÍAS y ACCESORIOS.....	pág.4
4. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL.....	pág.4
4. PRESUPUESTO TOTAL.....	pág.5

PRESUPUESTO GENERAL

1. COSTES OBRA CIVIL

Preparación del terreno a utilizar:

- Despeje, desbroce de la vegetación, desarbolado, y retirada de productos a vertedero. **750 m²**

Excavación:

- Arqueta principal entrada planta.....40 m³
- 2 Arquetas para rejillas.....0,72 m³
- Arqueta entrada al tamiz.....9 m³
- Reactor biológico..... 540 m³
- Decantador.....120 m³
- Arqueta agua tratada.....40 m³

749,72 m³

Hormigonado:

- Arqueta principal entrada planta.....80 m²
- 2 Arquetas para rejillas.....4,8 m²
- Arqueta entrada al tamiz.....30 m²
- Reactor biológico..... 310 m²
- Decantador.....54 m²
- Arqueta agua tratada.....116,2 m²

590,20 m²

	Precio Unitario (€)	Importe Total
PREPARACIÓN	1,95	1.462,5 €
EXCAVACIÓN	2,20	1.649,4 €
HORMIGONADO	57	33.641 €

2. COSTES EQUIPOS INSTALADOS

Equipos comerciales

- Rejas automáticas.....	11.600 €
- Tamiz cilindro rotatorio.....	8.500 €
- Filtro Edasan.....	16.320 €
- Equipo UV.....	17.830 €
- Soplante de 20 KW.....	3.980 €
- Caudalímetro electromagnético.....	3.723 €
- Bomba centrifuga lodos.....	1.140 €

63.093 €

3. COSTES CONEXIÓN ENTRE EQUIPOS:

TUBERÍAS Y ACCESORIOS

- Línea arqueta principal-reja	
12 m DIN 125.....	974,4 €
2 Codos 90° DIN 125.....	85,10 €
2 Válvulas de compuerta DIN 125.....	1.090 €
- Línea reja-arqueta-tamiz	
3 m DIN 125.....	243,60 €
3 m DIN 200.....	360,30 €
- Línea tamiz- biológico	
6,5 m DIN 125	527,80 €
Accesorio unión 250-125.....	44,30 €
3 Codo 90° DIN 125.....	127,65 €
- Línea biológico-decantador	
10,5 m DIN 125	852,60 €
4 Codo 90° DIN 125.....	170,20 €

- Línea Recirculación fangos y purga	
28 m DIN 125	2273,60 €
4 Codos 90° DIN 125.....	170,20 €
1 T recta DIN 125.....	98,45 €
1 Válvula de Bola DIN 125.....	83,07 €
1 Electroválvula.....	326,35 €
- Línea efluente decantado- filtro	
6 m DIN 150	554,40 €
2 Codos 150° DIN 125.....	104,60 €
- Línea filtro-UV-arqueta	
7 m DIN 125	568,40 €
Accesorio unión 125-200.....	40,30 €
3 m DIN 200.....	360,30 €

9.055,62 €

4. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL

<i>Obra civil</i>	36.752 €
<i>Equipos</i>	63.093 €
<i>Conexión entre equipos</i>	9.055,62 €
Presupuesto por Ejecución Material (P.E.M.).....	108.900,62 €

Asciende el PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL a la cantidad de “CIENTO OCHO MIL NOVECIENTOS SESENTA Y DOS EUROS”

4. PRESUPUESTO TOTAL

Total Presupuesto Ejecución de Material (PEM)..... **108.900 €**

16 % Gastos Generales..... **17.424,1 €**

6% Beneficio Industrial..... **6.534 €**

132.858,2 €

18 % Gastos Generales..... **23.914,4 €**

TOTAL PRESUPUESTO POR CONTRATA.....156.772,66 €

**Asciende el PRESUPUESTO POR CONTRATA a la cantidad de “CIENTO
CINCUENTA Y SEIS MIL SETECIENTOS SETENTA Y DOS CON
SESENTA Y SEIS EUROS”**

