



**UNIVERSITAT
JAUME•I**

Universitat Jaume I

Escola Superior de Tecnologia i Ciències Experimentals

Grau en Enginyeria Química

**DISEÑO DE UN PROCESO DE
NITRIFICACIÓN Y DESNITRIFICACIÓN
PARA UNA EDAR**

Trabajo Fin de Grado

Autor/a

Nura Syouffi Barghout

Tutor/a

Ana Gosalbo Nebot

Castellón, Noviembre de 2021

ÍNDICE GENERAL

0.RESUMEN

1. MEMORIA

2. ANEXOS

ANEXO N°1 CÁLCULOS DE DISEÑO

ANEXO N°2 ESTUDIO DE SEGURIDAD Y

SALUD

ANEXO N°3 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

3.PLANOS

4.PLIEGO DE CONDICIONES

5.PRESUPUESTO

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

0. RESUMEN

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

En el presente Trabajo Fin de Grado se realiza un estudio para modificar el tratamiento biológico presente en la planta depuradora de aguas residuales de Benicasim. El tratamiento biológico actual en la planta está formado por dos reactores situados en paralelo, con un volumen útil de 1320 m³ entre los dos y el caudal medio de diseño del tratamiento biológico es de 6.000 m³/d.

La modificación que se realiza en este proyecto consiste en separar cada uno de estos reactores en tres etapas, cada una de las cuales formadas por una zona anóxica seguida de una zona aerobia, de tal manera que se consiga por medio de un proceso de nitrificación y desnitrificación disminuir la concentración de nitrógenos y de materia orgánica presente en la corriente de agua residual. Además, la alimentación a cada uno de los reactores será distribuida entre las zonas anóxicas de las diferentes etapas.

Con este diseño, se busca cumplir los valores límites de emisión dictados por la Ley para poder verter el agua residual en su cauce natural sin perjudicar al ecosistema.

Para llevar a cabo el proyecto de la mejor manera posible, se ha realizado en primer lugar los cálculos de diseño para dos temperaturas diferentes (para la época de verano y la época de invierno) partiendo de las características del agua residual que llega a la planta. A continuación, se ha determinado la demanda de oxígeno y el número de difusores necesario en cada reactor aerobio, se ha diseñado las tuberías y por medio de un balance de energía mecánica se ha determinado la cantidad de bombas necesarias que hay que instalar en el diseño y la potencia necesaria de cada una. Seguidamente se han realizado los planos en AutoCAD y por último se ha hecho un estudio de viabilidad económica y de seguridad y salud.

1. MEMORIA

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

ÍNDICE DE LA MEMORIA

1. OBJETO	1
2. ALCANCE.....	2
3. ANTECEDENTES	3
3.1 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA	4
3.1.1 Pretratamiento.....	6
3.1.2 Decantación primaria	6
3.1.3 Reactor biológico	6
3.1.4 Decantación secundaria	6
3.1.5 Tratamiento físico-químico	7
3.1.6 Línea de fangos	7
3.2 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL QUE LLEGA A LA PLANTA.....	8
3.3 CALIDAD DEL EFLUENTE DE SALIDA	9
3.4 CONTAMINANTES PRESENTES EN EL AGUA RESIDUAL	9
3.4.1 Sólidos	9
3.4.2 Materia orgánica	10
3.4.3 Microorganismos	11
3.5 PARÁMETROS DE CARÁCTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES	12
3.6 PROCESOS BIOLÓGICOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS	14
3.6.1 Proceso de oxidación de la materia orgánica	16
3.6.1.1 Reacción de síntesis o asimilación	16
3.6.1.2 Reacción de oxidación o respiración endógena	17
3.6.1.3 Factores que intervienen en la oxidación endógena.....	17
3.6.2 Proceso de nitrificación	18
3.6.3 Proceso de desnitrificación	19
3.6.4 Fase de crecimiento de los microorganismos	19
4. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS	21
5. LEYES Y DECRETOS	25
6. ANÁLISIS DE SOLUCIONES.....	27
6.1 FANGOS ACTIVOS CONVENCIONALES.....	28
6.2 REACTOR BIOLÓGICO DE MEMBRANA MBR	29

6.3 REACTOR BIOLÓGICO SECUENCIAL SBR	31
6.4 PROCESO DE BARDENPHO	32
6.5 PROCESO DE ELIMINACIÓN DE NITRÓGENO POR ETAPAS CON ALIMENTACIÓN DISTRIBUIDA	33
6.6 INSTALACIONES DE PROCESO Y DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO..35	
6.6.1 Conducciones de agua residual	35
6.6.2 Válvulas	36
6.6.3 Bombas de impulsión del agua residual.....	36
6.6.4 Sistemas de aireación de tanques aerobios.....	37
6.7 SOLUCIÓN ADOPTADA.....	40
7. RESULTADOS FINALES	42
8. PLANIFICACIÓN	44
9. ORDEN DE PRIORIDAD ENTRE LOS DOCUMENTOS	47
10. VIABILIDAD ECONÓMICA	48
10.1 RESUMEN DEL PRESUPUESTO	48
10.1.1 PEM	48
10.1.2 PEC	48
10.2 PRESUPUESTO DE EXPLOTACIÓN.....	49
10.2.1 Gastos directos.....	49
10.2.2 Gastos indirectos.....	50
10.2.3 Gastos totales	50
10.2.4 Amortizaciones.....	50
10.3 BENEFICIO	51
10.3.1 Beneficio bruto	53
10.3.2 Beneficio neto	54
10.4 FLUJO DE CAJA	54
10.5 VALOR ACTUAL NETO (VAN)	55
10.6 TASA DE RENTABILIDAD INTERNA (TIR)	56
10.7 PERIODO DE RETORNO (PR).....	57
11. REFERENCIAS	58
11.1 SOFTWARE EMPLEADO.....	58

11.2 BIBLIOGRAFÍA	58
11.3 WEBGRAFÍA	58

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

1. OBJETO

El objeto del presente proyecto es modificar el tratamiento biológico presente en la planta depuradora de aguas residuales de Benicasim, para que sea capaz de eliminar los nitratos por un proceso de nitrificación y desnitrificación hasta que se cumplan los valores de emisión dictados por ley. Se tratará de efectuar las mínimas modificaciones posibles, a fin de minimizar el coste económico y el tiempo empleado en la implementación de la solución adoptada, y así aprovechar en la medida de lo posible toda la infraestructura existente.

2. ALCANCE

En el proyecto “*Diseño de un tratamiento de nitrificación y desnitrificación para una EDAR*” se modifica el tratamiento biológico de lodos activos presente en la planta depuradora de aguas residuales de Benicasim, para conseguir disminuir la concentración de nitrógenos totales presentes en el agua residual hasta los valores límites de emisión, ya que el tratamiento biológico presente actualmente en la planta, solo consigue eliminar la DBO₅. Con este nuevo diseño se pretende conseguir un efluente con la calidad necesaria para poder depositarse en el cauce marino sin causar ningún peligro al ecosistema y cumplir con la Directiva el REAL DECRETO 509/1996, de 15 de marzo, de desarrollo del Real Decreto-/Ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas.

Tras realizar varios estudios, la modificación que se realiza consiste en añadir en cada uno de los reactores del tratamiento biológico tabiques que separen cada reactor en tres etapas. Cada una de estas etapas estará formada por una parte anóxica y otra aerobia de tal manera que, mediante varios procesos de nitrificación y desnitrificación, se consiga disminuir la concentración de nitrógenos en el agua residual.

El caudal de agua residual que sale del decantador primario se repartirá entre las dos líneas de tratamiento y la alimentación a cada uno de los reactores será distribuida entre las diferentes zonas anóxicas que hay en las diferentes etapas de cada reactor. Para ello será necesario instalar unas arquetas de entrada de agua en el inicio de cada zona anóxica. Con respecto al caudal de recirculación de fangos, éste alimentará la primera zona anóxica de cada línea de tratamiento.

Debido a que la alimentación en este nuevo diseño está distribuida en varios puntos, será necesario modificar las tuberías que transportan el agua residual desde el decantador primario hasta las diferentes arquetas de entrada a los reactores biológicos.

Además, se modificará el sistema de aireación de los reactores, instalando únicamente los difusores de membrana en las etapas aerobias de cada reactor.

3. ANTECEDENTES

El agua es un recurso básico renovable pero limitado ya que a pesar de que el 70% del planeta está constituido por agua, tan solo un 3% es agua dulce y por tanto apta para consumo humano. Además, el agua no se encuentra equitativamente distribuida en el planeta y hay zonas que tienen difícil acceso a este recurso. El ser humano usa este recurso en todos los ámbitos de su vida: desde consumo humano, hasta uso industrial y energético, y desafortunadamente este recurso está sufriendo una escasez debida principalmente a dos factores principales: el aumento de su consumo mundial, y la contaminación global.

El consumo mundial del agua se ha duplicado entre 1960 y 2010, llegando a consumirse 1.970 kilómetros cúbicos por año. La mayor parte de este consumo es destinado a la agricultura que se ha duplicado en los últimos 50 años, debido a la optimización de los sistemas de riego y el desarrollo de nuevos métodos de regadío. Del mismo modo, el consumo del agua para consumo industrial se ha visto triplicado, así como el consumo doméstico del agua debido al aumento de la población.

La contaminación por otro lado, es uno de los principales causantes de la escasez del agua. Factores como el vertido de productos nocivos o el vertido de aguas residuales sin ser tratadas al ecosistema marino, son los causantes principales de la contaminación del agua. Según la UNESCO, el 80% de las aguas residuales se devuelven al ecosistema sin ser tratadas, lo que conlleva una presencia de gran cantidad de contaminantes en las fuentes de aguas que hace que estas se vean incapaces de absorber y neutralizar la carga contaminante. Como consecuencia, las características físicas de los cauces marinos se ven alterados, haciendo difícil mantener la vida acuática, y la calidad del agua se deteriora, provocando enfermedades de origen hídrico y haciendo perjudicial su uso.

Se estima que más de 1.000 millones de toneladas de aguas residuales se vierten anualmente a los cauces marinos sin ser tratadas. Esta contaminación se encuentra presente con mayor intensidad en aquellos países industrializados y con una intensa agricultura. En China, se estima que 80% de sus ríos se encuentran contaminados y por tanto no son aptos para agua potable ni para lavar. En Estados Unidos, 2 de cada 5 ríos se encuentran contaminados, por lo cual los habitantes no pueden bañarse ni pescar en ellos.

Por otro lado, el cambio climático provocado por la contaminación del aire debida a la emisión de gases nocivos por parte de las industrias y por el uso excesivo de los coches, ha provocado una fuerte sequía en el planeta.

Esto ha conllevado una fuerte preocupación en la última década y una búsqueda de solución para combatir la escasez de agua. Por esta razón cada vez más están surgiendo plantas depuradoras capaces de reducir la carga contaminante en el agua antes de verterla en su cauce natural. Mediante este tratamiento se consigue modificar las condiciones físicas, químicas y biológicas del agua disminuyendo así el impacto negativo en la zona donde se vaya a verter y cumpliendo las normas que garantizan el cuidado del medio ambiente.

El tratamiento de aguas se ha convertido en algo esencial que se debe de realizar para poder cumplir con las Leyes que exigen el cuidado del Medio Ambiente. En concreto, el Real Decreto-Ley 11/1995 de 28 de diciembre, que establece que todos los Estados Miembros adoptarán las medidas necesarias para garantizar que el agua será tratada antes de verterla al medio natural.

3.1 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA

El diseño que se realiza será para la planta depuradora de aguas situada en Benicasim, en la provincia de Castellón. Esta EDAR tiene una superficie de 8.900 m² y trata el agua residual de uso doméstico procedente de tres estaciones de bombeo. El caudal medio diario en invierno es de 250m³/h. Este valor se triplica en verano debido al aumento de la población y la presencia de turismo en la zona.

En la figura M.1, se muestra una vista satélite de la EDAR:



Figura M.1. Vista Satélite de la EDAR de Benicasim

Las partes de la planta que se muestran en la Figura M.1 son las siguientes:

1. Zona de Pretratamiento que consta de los procesos de desbaste, desarenado y desengrasado
2. Zona Parshall donde se mide el caudal del agua bruta y se reparte entre línea biológica y la línea físico-química
3. Decantación primaria en tratamiento biológico
4. Tanques biológicos de lodos activados
5. Decantación secundaria del tratamiento biológico.
6. Tanque de mezcla del agua con los reactivos (cal, cloruro férrico y polielectrolito) y tanque de floculación separados en dos líneas, con compuertas.
7. Decantación primaria del tratamiento físico- químico mediante dos clarificadoras circulares
8. Zona de desodorización
9. Edificio de Explotación
10. Digestor aerobio para fangos
11. Espesador de fangos
12. Zona de instalación de los filtros de arena
13. Tolda de recogida de fangos
14. Depósito de los residuos

A continuación, se explican las fases de tratamiento de aguas residuales que se realiza en la planta:

3.1.1 Pretratamiento

El agua se impulsa desde las estaciones de bombeo hacia el edificio de pretratamiento, donde en primer lugar se realiza un tamizado para eliminar los residuos de mayor tamaño.

A continuación, el agua desbastada pasa a los desarenadores, donde se decantan las arenas, las gravas y aquellas partículas que se asemejan a éstas. Junto al desarenado, se realiza un proceso de aireación con desemulsión-desengrasado, inyectando aire a baja presión que produce burbujas que desemulsionan las grasas y los aceites, evitan que sedimenten las materias orgánicas, e impiden cualquier descomposición anaeróbica.

El agua que sale del pretratamiento pasa a través de un canal Parshall donde se mide el caudal de agua, y a través de una arqueta de equirrepartición se reparte el agua entre el tratamiento biológico y el tratamiento físico-químico. En el tratamiento biológico se puede tratar como máximo 6000 m³/d.

3.1.2 Decantador primario

El agua que sale del canal Parshall entra al decantador primario donde se sedimentan los sólidos de pequeño tamaño que no se han eliminado en el pretratamiento. y se arrastran por medio de unas rasquetas barredoras hacia una tolva cónica situada en el centro del tanque, desde la que son purgados periódicamente.

3.1.3 Reactor biológico

El agua pretratada pasa al tratamiento biológico convencional de lodos activados, que consiste en dos tanques independientes de 660 m³ de volumen cada uno, donde por medio de unos microorganismos se degrada la materia orgánica. Para llevar a cabo este tratamiento, se precisa de aire que es administrado por medio de dos soplantes de émbolos rotativos, la concentración de oxígeno en el tanque debe de ser siempre 2,00mg/l y se distribuye por todo el volumen del tanque por medio de unos difusores de membrana.

El tanque biológico no está diseñado para eliminar nitrógenos, no obstante, se puede disminuir la cantidad presente en el agua alternando condiciones aerobias con anóxicas.

3.1.4 Decantador secundario

Al agua aireada que sale del reactor biológico y que contiene los bioflóculos (microorganismos nuevos), se le añade Cloruro Férrico para precipitar el fósforo y poder retirarlo en el decantador secundario.

A continuación, el agua pasa al decantador secundario donde los lodos sedimentan y parte de ellos se recirculan al tanque de tratamiento biológico para recuperar la actividad de los microorganismos, y el resto se recircula al decantador primaria para purgarse junto a los lodos primarios.

Al efluente que sale del decantador, se le puede aplicar una cloración antes de verterlo al emisario submarino.

3.1.5 Tratamiento físico-químico

El agua procedente de la arqueta de repartición pasa a la cámara de mezcla del tratamiento físico químico donde se añaden la cal y el cloruro férrico y se produce una agitación rápida usando una turbina de paletas, haciendo que se mezclen íntimamente los reactivos con el agua. A continuación, en la zona de rebose de la cámara se añade polielectrolito, para aumentar la eficacia.

Esta mezcla de aguas con reactivos pasa a la línea de floculación, donde se usa turbinas de paletas para agitar lentamente y formar flóculos.

Por último, a través de una conducción central se envía el agua hacía unos cilindros de hormigón que distribuyen el agua en todas las direcciones en dos clarificadoras circulares de 647 m³ de volumen unitario. Los sólidos sedimentados son arrastrados por medio de un sistema de arquetas barredoras de fondo, hacia una tolva que se encuentra en el centro del tanque, desde las que son purgadas periódicamente.

El tratamiento químico no es tan eficaz como el biológico, por lo cual este tratamiento se usa en dos casos excepcionales: en verano, cuando el caudal que llega a la planta es elevado, se emplea este tratamiento para tratar 1000 m³/d y para depurar el agua de lluvia, ya que contiene pocos contaminantes.

3.1.6 Línea de fangos

La línea de fangos consta de cuatro procesos: digestión, estabilización, espesamiento y deshidratación.

En la etapa de digestión se usan microorganismos que oxidan la materia orgánica para obtener un lodo inocuo, estabilizado y fácilmente deshidratable.

A continuación, los fangos digeridos pasarán a un tanque de estabilización en el cual se añade una dosis de 10% de cal, previamente diluida al 1 -1,5% .

Seguidamente, se conduce el fango estabilizado a los dos tanques de espesamiento, donde se espesa el fango por medio de un sistema vertical de paletas y un sistema barredor de fondo, que empuja a los lodos a salir por la tolva de recogida que se encuentra en el centro del tanque.

Por último, se envía el fango hacia el proceso de deshidratación que se realiza por medio de dos filtros de banda continua. Finalmente, el fango deshidratado se envía a unas tolvas, para ser recogidas por unos camiones y destinarlos a la agricultura.

En la Figura M.2 se observa el diagrama de flujo de la EDAR.

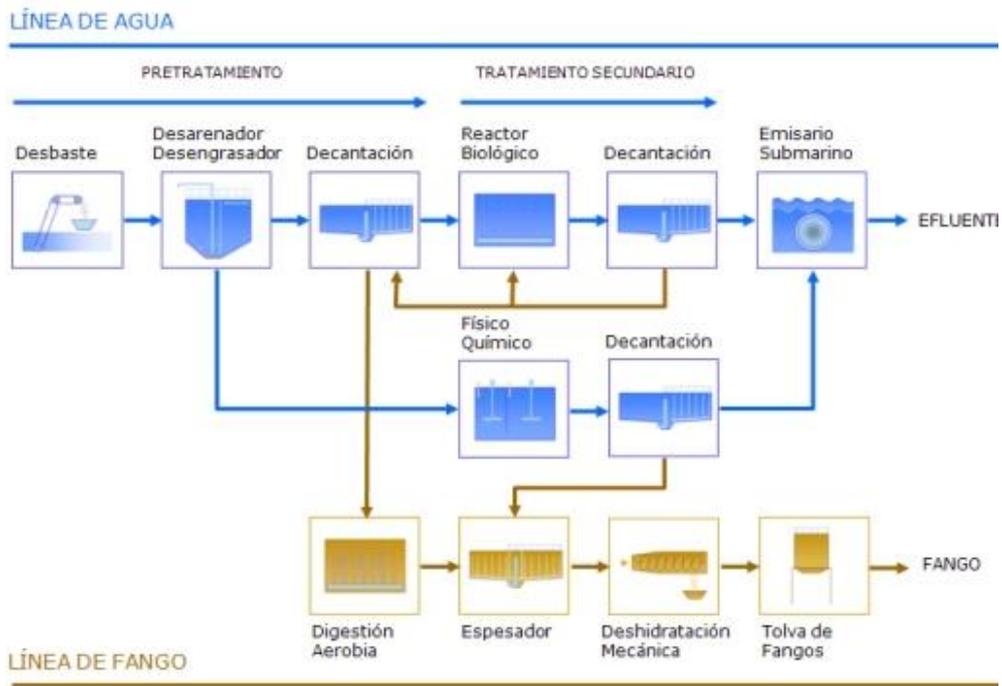


Figura M.2 Diagrama de flujo de la EDAR de Benicasim

3.2 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL QUE LLEGA A LA PLANTA

El agua que llega a la planta, es de origen doméstico por lo que no contiene ningún componente tóxico. En la tabla M.1 se muestran las características del agua que llega a la planta:

Tabla M.1 Características del agua residual que llega a la planta

Parámetro	Concentración(mg/l)	Carga diaria (kg/d)
DBO ₅	300	1800
TSS	213	1278
DQO	450	2700
NTK	80	480

Después de realizar el pretratamiento y la decantación primaria, el agua que entra al reactor biológico, tiene las características que se muestran en la tabla M.2:

Tabla M.2. Características del agua residual que entra al tratamiento biológico

Parámetro	Concentración(mg/l)	Carga diaria (kg/d)
DBO ₅	210	1260
TSS	85	510
VSS	55,25	331,5
bDQO	250	1500
TKN	50	300

3.3 CALIDAD DEL EFLUENTE DE SALIDA

Una vez realizados todos los tratamientos, el agua tratada debe de tener la composición que se muestran en la tabla M.3, de acuerdo con los artículos 4 y 5 de la Directiva 91/721/CEE:

Tabla M.3 Características que debe de tener el agua residual de acuerdo con la Directiva 91/721/CEE

Contaminante	Concentración en vertido (ppm)
DBO ₅	≤ 25
SS	≤ 35
N	< 15
P	< 2

3.4 CONTAMINANTES PRESENTES EN EL AGUA RESIDUAL

El agua residual que llega a la planta es de uso doméstico por lo que no tiene compuestos nocivos de alta peligrosidad. A continuación, se nombran los residuos presentes en dichas aguas:

3.4.1 Sólidos

En las aguas residuales se encuentran sólidos tanto orgánicos como inorgánicos. Los sólidos orgánicos son aquellos que se producen por actividad humana y son susceptibles a ser degradados por microorganismos y en promedio constituyen el 50% de los sólidos

totales. Los sólidos inorgánicos, en cambio, son sustancias inertes que no se pueden degradar. Dentro de los sólidos inorgánicos se incluyen las gravas, arenas, metales, arcillas.

Además, se puede distinguir entre los sólidos suspendidos y los disueltos.

Los sólidos suspendidos son aquellos sólidos visibles y flotantes en las aguas tales como sólidos fecales, arcillas, restos de papel, madera, restos de comida, basura, etc. Estos sólidos se eliminan por mecanismos físicos o mecánicos en la fase pretratamiento y son un 70% orgánicos y 30% inorgánicos. A su vez los sólidos suspendidos se pueden dividir en sedimentables y coloidales. Los sólidos sedimentables son aquellos que debido a su tamaño y peso pueden sedimentarse en un periodo corto de tiempo. Los sólidos coloidales, en cambio, son partículas extremadamente pequeñas que no sedimentan y por lo cual requieren ser agrupados en partículas mayores (coagulación).

Los sólidos disueltos son aquellos que se quedan retenidos un proceso de filtración fina, en general son un 40% orgánicos y un 60% inorgánicos.

En la figura M.3 se muestra una composición aproximada del agua residual doméstica:

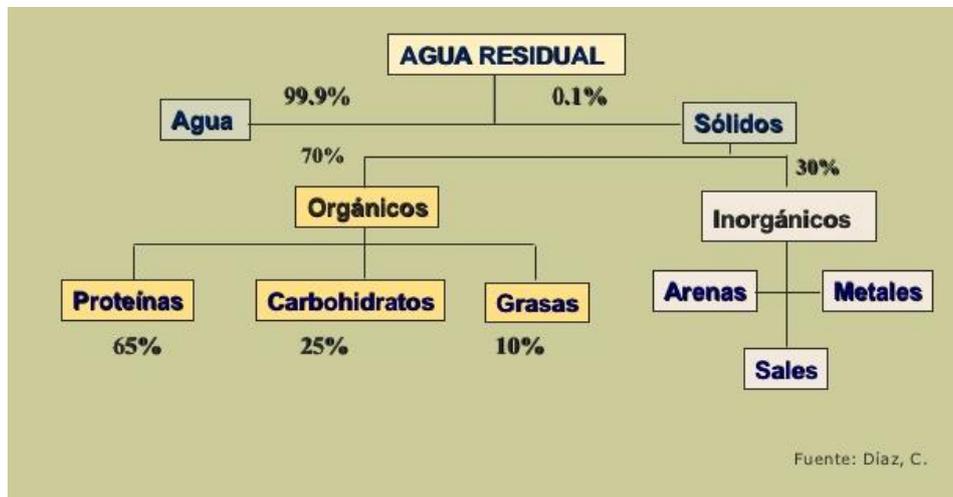


Figura M.3 Composición aproximada de agua residual de uso doméstico

3.4.2 Materia Orgánica

La materia orgánica constituye una tercera parte de los contaminantes presentes en las aguas residuales. Son el resultado de las actividades de los animales, los vegetales, así como las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos. Las

materias orgánicas están formadas por combinaciones de C,H y O y en algunas ocasiones N y otros elementos como S,P o Fe Los principales grupos de sustancias orgánicas presentes en el agua residual son:

Proteínas (40-60%). Son los principales componentes de los animales y tienen una estructura muy compleja e inestable. Su presencia en el agua provoca fuertes olores desagradables.

Hidratos de carbono (25-50%): Los hidratos de carbono incluyen azúcares, almidones, celulosa y fibras de madera. Su presencia en la naturaleza es amplia y en el agua residual es más importante.

Grasas y aceites (10%): Su procedencia puede ser animal, vegetal o mineral. Provoca suciedad en las instalaciones a pequeñas cantidades, en el cauce marino ocupa grandes superficies debido a la tensión superficial. Además, interfieren en la actividad biológica impidiendo la transferencia de oxígeno y su descomposición bacteriana es compleja.

Los agentes tensioactivos están formados por moléculas de gran tamaño, ligeramente solubles en agua y son los responsables de la aparición de espumas en las plantas de tratamiento.

3.4.3 Microorganismos

Las aguas residuales pueden contener una gran cantidad de organismos entre los que destacan: Bacterias, Virus, Protozoos, Hongos, Algas, Plantas y animales. La concentración de estos contaminantes depende de la composición del agua residual y su presencia está influenciada por la temperatura y el pH.

Bacterias: Las bacterias presentes en el agua residual pueden ser de origen fecal o implicadas en el proceso de biodegradación. En las aguas residuales brutas predominan especies pertenecientes a grupos como: *Escherichia*, *Salmonella*, *Pseudomonas*, *Aeromonas*, *Serratia*, *Nocardia*, ...

Algas: Las algas junto a las bacterias contribuyen a la eliminación de la materia orgánica en las aguas residuales. Su crecimiento en el agua residual se ve favorecido por la presencia de nitrógeno y fósforo y su presencia en las aguas marinas es peligroso ya que da lugar al proceso de eutrofización.

Protozoos: Los protozoos son microorganismos formados por una única célula, habitan en agua con elevada cantidad de materia orgánica y se alimentan de bacterias. Por lo cual, contribuyen en los procesos de tratamiento biológico y además purifican las aguas ya que pueden eliminar las bacterias suspendidas en el agua, evitando la turbidez del efluente.

Hongos: Los hongos son organismos eucariotas, multicelulares, aerobios y no fotosintéticos. Muchos de ellos son saprofitos, basan su alimentación en la materia orgánica muerta. Junto con las bacterias, los hongos son los principales responsables de la descomposición del carbono en la biosfera. Pueden desarrollarse en zona con poca humedad y en ambientes de pH bajo.

Virus: Son partículas parásitas formadas por un cordón de material genético y una capa proteica que los recubre. Su presencia en las aguas residuales es debida a la excreción por parte de los individuos infectados, son muy resistentes a algunos tratamientos de agua residual y pueden ser un importante peligro para la salud pública.

3.5 PARÁMETROS DE CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES

El grado de contaminación presente en las aguas residuales se puede determinar usando los parámetros siguientes:

Sólidos secos

Son las partículas que se encuentran en suspensión en el agua debido a su pequeño tamaño o la existencia de fuerzas electrostáticas. Se determinan mediante una filtración y un posterior secado a 105°C.

Sólidos secos volátiles

Son los sólidos secos biodegradables presentes en el agua. Se determinan por medio de una filtración y posterior calcinación a una temperatura de 550°C.

DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno, ppm)

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

Refleja la cantidad de materia orgánica biodegradable que contiene el agua residual, indicando el oxígeno necesario para alimentar a los microorganismos aerobios y las reacciones químicas del metabolismo microbiano.

DQO₅ (Demanda Química de Oxígeno, ppm)

La Demanda Química de Oxígeno es la cantidad de oxígeno que se precisa para la oxidación de la materia orgánica.

pH

Este parámetro mide la concentración del ion hidrógeno en el agua, y es importante que esté en un margen de 7 a 9 unidades para que se desarrollen adecuadamente los microorganismos presentes en el tratamiento biológico.

Turbidez

La turbidez es un parámetro que determina la cantidad de materia orgánica y de microorganismos presentes. Esta turbidez en las masas receptoras, impide el paso de la luz.

Conductividad

La conductividad es un parámetro muy empleado para determinar la cantidad de sales que se encuentran disueltas en el agua.

Nitrógeno (NT, ppm)

El Nitrógeno es un nutriente esencial para el crecimiento de los microorganismos. Es importante que esté en concentraciones suficientes para que se pueda llevar a cabo el tratamiento biológico del agua residual. Además, este componente debe de reducirse hasta los valores adecuados para que el agua residual pueda verterse en su cauce natural ya que es un gran contaminante para el ecosistema marino.

Fósforo (PT, ppm)

El Fósforo es uno de los principales constituyentes de los detergentes sintéticos y se encuentra en el agua como ortofosfatos y polifosfatos. Los ortofosfatos se emplean en el metabolismo biológico sin disociaciones posteriores, mientras que las polifosfatos se convierten tras un proceso largo de hidrólisis en ortofosfatos. Este nutriente debe de ser

eliminado del agua ya que contribuye a la eutrofización de las aguas provocando graves problemas de calidad de agua.

Cloruros

Los cloruros pueden estar presentes por una contaminación fecal, ya que el ser humano excreta aproximadamente 6 gr diariamente en sus heces; o por la infiltración de agua marina en los acuíferos subterráneos cercanos al mar, o por el uso de ablandadoras, en el tratamiento de aguas de abastecimiento.

Alcalinidad

Mide la cantidad de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, magnesio, sodio, potasio o amoníaco presentes en el agua. Este parámetro ayuda a regular los cambios bruscos de pH en el agua, además es de gran importancia para eliminar los nutrientes en el tratamiento biológico, así como en el tratamiento químico.

Temperatura

Este parámetro es importante para la actividad enzimática. Una elevada temperatura aumenta la velocidad de reacción, pero por otra parte provoca una inestabilidad en las enzimas. Por lo tanto, es importante controlar este parámetro para llevar a cabo una depuración biológica adecuada. La temperatura óptima está entre los 12°C y 38 °C.

3.6 PROCESOS BIOLÓGICOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS

Actualmente los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales son los que más importancia tienen y son de gran utilidad para eliminar los contaminantes. Dentro de estos procesos, el sistema de lodos activados es el más utilizado, este sistema utiliza un conjunto de microorganismos que degradan la materia orgánica para poder realizar su metabolismo y desarrollarse.

El tratamiento biológico de lodos activados consta de tres etapas: una sedimentación primaria, un tratamiento biológico y una sedimentación secundaria.

- ❖ La sedimentación primaria tiene lugar en un clarificador primario, donde se sedimentan todas aquellas partículas de menor tamaño, que no se han eliminado en el pretratamiento.

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

- ❖ El tratamiento biológico tiene lugar en un tanque de aireación, donde se encuentra en suspensión el cultivo bacteriano aerobio, formado por bacterias, hongos y protozoos y la materia orgánica e inorgánica. Los microorganismos degradan la materia orgánica para consumirla y formar bioflóculos. Los flóculos formados junto con los compuestos orgánicos e inorgánicos solubles y particulados, constituyen el licor mezcla.
- ❖ El licor mezcla pasa al decantador secundario, que se encuentra en serie con el tanque de aireación. Los bioflóculos se separan del agua por sedimentación y parte de ellos se recirculan al tanque de aireación para mantener la actividad biológica y el resto se envían al sedimentador primario para purgarse junto a los lodos primarios. El agua clarificada pasa a un proceso de desinfección con cloro para posteriormente enviarse al emisario submarino.

Junto a la eliminación de la materia orgánica resulta de gran importancia eliminar los nutrientes presentes en el agua residual, ya que una elevada concentración de estos nutrientes en el cauce marino produce el crecimiento de algas y plantas acuáticas dando lugar al fenómeno llamado eutrofización. La eutrofización provoca un impacto negativo en el ecosistema, ya que impide la llegada de luz a las zonas más profundas, así como implica un consumo de oxígeno elevado. Por este motivo, muchas especies marinas se encuentran amenazadas. El fenómeno de eutrofización es causado por la contaminación, por el uso de fertilizantes, la producción masiva de ganado y el vertido de aguas residuales sin ser tratadas.

El método más apropiado para eliminar el nitrógeno es el proceso de nitrificación y desnitrificación. El proceso de nitrificación tiene lugar en condiciones aerobias, y en él se convierte el amoníaco presente en el agua en nitrato reduciendo la demanda de oxígeno del efluente. El proceso de desnitrificación tiene lugar en condiciones anóxicas, y en él se convierte el nitrato producido en la etapa anterior en óxido nitroso o nitrógeno gaseoso que se eliminan a la atmósfera.

En la figura M.4 se muestra un esquema del proceso de nitrificación y desnitrificación:

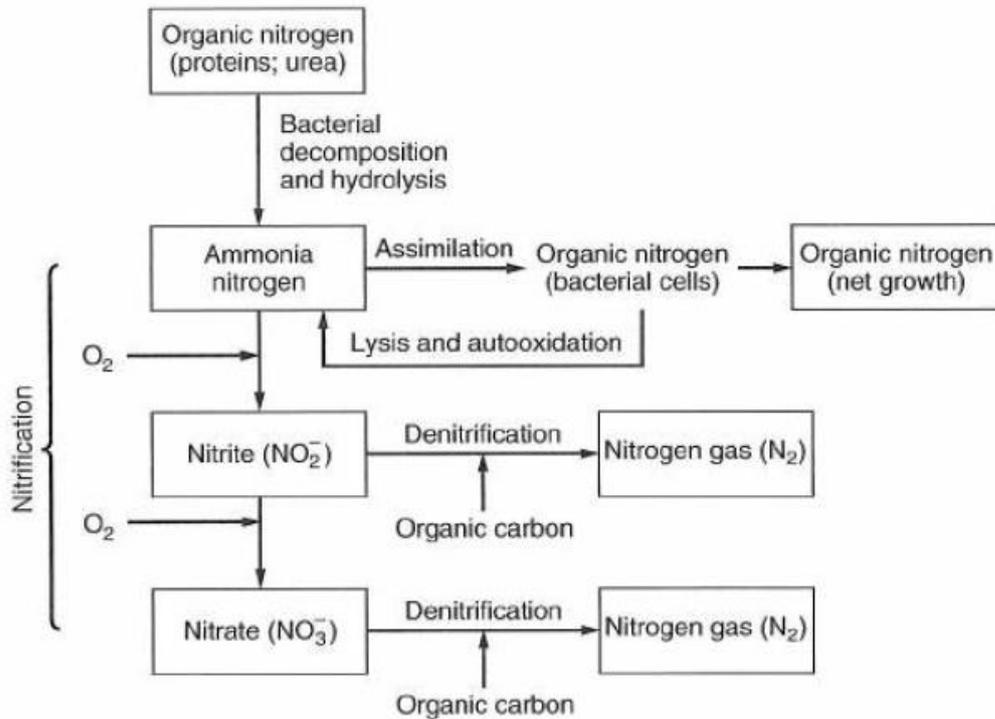
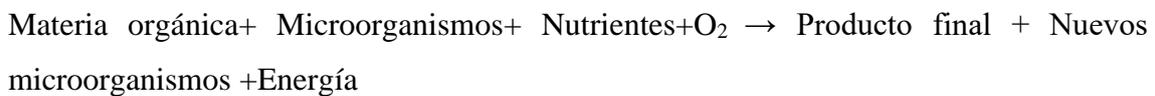


Figura M.4. Esquema del proceso de nitrificación y desnitrificación

A continuación, se describe el proceso de oxidación de la materia orgánica, así como el proceso de nitrificación y el de desnitrificación:

3.6.1 Proceso de oxidación de la materia orgánica

La oxidación biológica es un proceso mediante el cual los microorganismos degradan la materia orgánica presente en el agua residual, para consumirla como alimento en presencia de oxígeno y de nutrientes mediante la siguiente reacción:



Para que se lleve a cabo esta reacción, es necesario que se lleven a cabo dos reacciones fundamentales: reacción de síntesis o asimilación y de respiración endógena u oxidación:

3.6.1.1 Reacción de síntesis o asimilación

Se incorpora los alimentos (materia orgánica y nutrientes) al interior de los microorganismos, y estos al obtener suficiente alimento se reproducen rápidamente

formando nuevos microorganismos. Parte del alimento es empleado como fuente de energía. La reacción que tiene lugar es la siguiente:

CHNO (materia orgánica) + O₂ + Bacterias + Energía → C₅H₇NO₂ (sustancias del interior bacteriano)

3.6.1.2 Reacción de Oxidación o Respiración endógena

Los microorganismos, necesitan de energía para poder realizar sus funciones vitales (moverse, comer, etc.) esta energía la obtienen transformando la materia orgánica asimilada y aquella acumulada en forma de sustancias de reserva en gases, agua y nuevos productos, de acuerdo con la siguiente reacción:

C₅H₇NO₂ (sustancias del interior bacteriano) + 5O₂ → 5CO₂ + 2H₂O + NH₃ + Energía.

3.6.1.3 Factores que intervienen en la oxidación biológica

Hay una serie de factores importantes que hay que tener en cuenta para que se produzcan las reacciones biológicas y, por tanto, la depuración del agua residual. Estos factores son los siguientes:

- **Las características del sustrato:** Las características fisicoquímicas del agua residual determinan el mejor o peor desarrollo de los microorganismos en este sistema, existiendo compuestos contaminantes que son degradables biológicamente y otros que no lo son.
- **Los nutrientes:** El interior celular, aparte de C, H y O, elementos característicos de la materia orgánica, contiene otros elementos como son el N, P, S, Ca, Mg etc., denominados nutrientes y que a pesar de que muchos de ellos se encuentran en el organismo sólo en pequeñas cantidades, son fundamentales para el desarrollo de la síntesis biológica.
- **Aportación de Oxígeno:** Como se ha visto, para el desarrollo de las reacciones biológicas es necesario un medio aerobio, es decir, con oxígeno suficiente que permita el desarrollo y la respiración de los microorganismos aerobios.
- **Temperatura:** A medida que aumenta la temperatura, aumenta la velocidad con que los microorganismos degradan la materia orgánica, pero a partir de los 37°C, dichos organismos mueren.

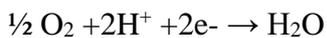
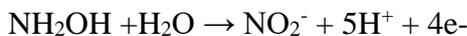
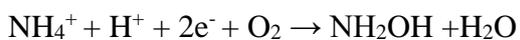
- **Salinidad:** El contenido en sales disueltas no suele ser problemático para el desarrollo bacteriano en el proceso de fangos activos hasta concentraciones de 3 a 4 g/L.
- **Tóxicos o inhibidores:** Existen una serie de sustancias orgánicas e inorgánicas que a ciertas concentraciones inhiben o impiden los procesos biológicos. Este tipo de sustancias, entre las que se encuentran los metales pesados, ejercen un efecto perjudicial sobre los microorganismos encargados de depurar el agua y, por tanto, no deben de entrar en las plantas depuradoras con el agua residual, o si entran deben de hacerlo en concentraciones muy bajas.

3.6.2 Proceso de nitrificación

El proceso de nitrificación tiene lugar junto al proceso de oxidación de materia orgánica. Se lleva a cabo por bacterias nitrificantes autótrofas y requiere de la presencia de oxígeno. El proceso se lleva a cabo en dos etapas de oxidación: en la primera etapa se oxida el amonio (NH_4^+) a nitrito (NO_2^-), y en la segunda etapa se oxida el nitrito a nitrato (NO_3^-). En cada una de estas etapas participan microorganismos de diferentes géneros.

La oxidación del amonio a nitrito se produce por bacterias del género *Nitrosomas* y *Nitrosolobus*, unas bacterias que tienen un rendimiento de crecimiento muy bajo. En esta etapa es donde se consume la mayor cantidad de oxígeno. (4,233mg O_2 /mg N- NH_4^+ oxidado), además se generan iones hidrógeno que disminuyen el pH del agua.

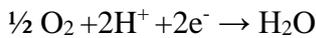
Las reacciones que tienen lugar es la siguiente:



En un primer lugar, la enzima amonio mono-oxigenasa (MAO) transforma el amonio en hidroxilamina, y posteriormente se convierte la hidroxilamina en nitrito por la enzima hidroxilamina óxidasa (HAO).

La oxidación del nitrito a nitrato, la realizan las bacterias del género *Nitrobacter* o *Nitrosococcus*, por acción de la enzima nitrito óxido reductasa.

La reacción que tiene lugar es la siguiente:



3.6.3 Proceso de desnitrificación

Una vez que se ha oxidado el amonio a nitrato, por medio de un proceso de desnitrificación se reduce este último a nitrógeno gas (N_2). Las bacterias que se usan son heterótrofas y crecen en condiciones anóxicas. La energía que usan para degradar la materia orgánica la obtienen de los nitratos. Los géneros más empleados son: Alcaligenes, Paracoccus, Pseudomonas, Thiobacillus y Thiosphaera.

Las reacciones que tienen lugar, son las siguientes:

Reducción de NO_3^- a NO_2^- , catalizado por la enzima nitrato reductasa.

Reducción del NO_2^- a NO por medio de la enzima nitrato reductasa.

Reducción de NO a N_2O catalizada por la enzima óxido nítrico reductasa.

La última etapa de desnitrificación es la reducción de N_2O a N_2 .

A continuación, se muestra la secuencia de reacciones que tiene lugar:



Cada paso, tiene una velocidad de reacción específica dependiendo de la cinética de la enzima. Así pues, las enzimas involucradas en las últimas etapas presentan una velocidad de reacción menor que las de la primera etapa.

3.6.4 Fases de crecimiento de los microorganismos

El crecimiento de las bacterias tiene lugar en cuatro fases características, reflejadas en la Figura M.5:

1. Fase de latencia: Las bacterias se encuentran en un nuevo ambiente por lo cual se encuentran en una fase de adaptación a dicho ambiente con un lento crecimiento.
2. Fase exponencial: Las bacterias se dividen a una velocidad constante a medida que van consumiendo la materia orgánica y los nutrientes.

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

3. Fase estacionaria: Los microorganismos reducen su actividad metabólica y usan las proteínas no esenciales como fuente de energía debido al agotamiento de los nutrientes.
4. Fase de muerte: Después de la fase estacionaria, aumenta el índice de muerte, por lo cual disminuye la población aceleradamente.

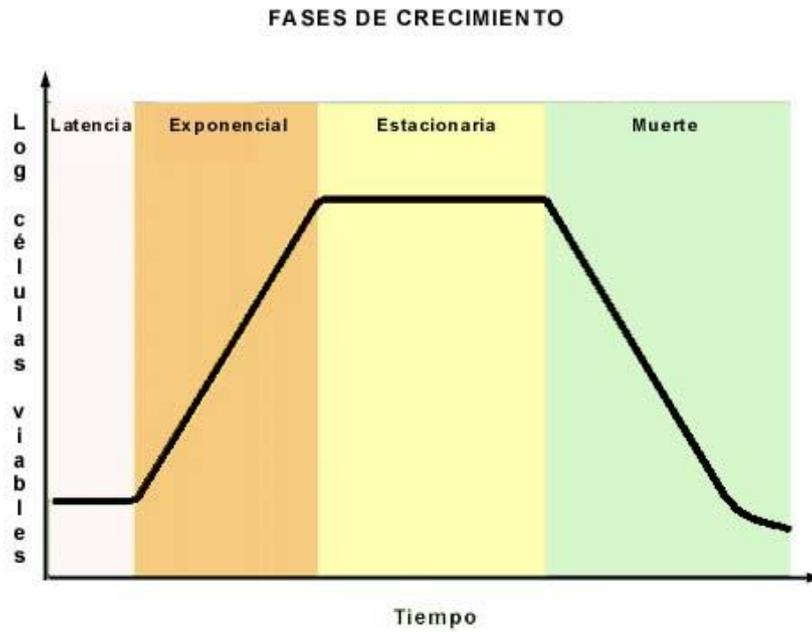


Figura M.5. Fases de crecimiento de los microorganismos.

4. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

Nitrificantes: Microorganismos que obtienen su energía a partir de la oxidación de materia inorgánica del N.

Heterótrofos: Son los microorganismos que degradan la materia orgánica para desarrollarse.

Reactor anóxico: reactor donde se produce la oxidación de nutrientes en ausencia de oxígeno.

Reactor aerobio: reactor que funciona bajo la presencia de oxígeno en su interior.

TKN: Conocido como Nitrógeno Kjeldahl, es la suma de amonios y nitrógeno total presente en el agua.

DBO₅: Demanda Biológica de Oxígeno, expresa la cantidad de oxígeno que los microorganismos necesitan para consumir la materia orgánica en el agua(mg/l).

DQO: Demanda Química de Oxígeno (mg/l).

bDQO: Demanda químico de oxígeno biodegradable (mg/l).

nbDQO: Demanda de oxígeno no biodegradable (mg/l).

TSS Total de sólidos suspendidos en el licor mezcla (mg/l).

VSS: Sólidos suspendidos volátiles en el licor mezcla (mg/l).

SRT: Tiempo de residencia de los microorganismos en el tanque aerobio (días).

QRAS: Caudal de recirculación desde el decantador secundario hasta el reactor biológico (m³/d).

XRAS: Fracción del caudal que recircula desde el decantador secundario hasta el reactor biológico.

MLSS: Concentración total de sólidos suspendidos en el licor mezcla en el tanque de aireación (mg/l).

MLVSS: Concentración de sólidos secos volátiles en el licor mezcla (mg/l).

Biomasa: Microorganismos que se encuentran en suspensión en el licor mezcla (g/m^3).

Nitrificadores: Microorganismos nitrificantes en suspensión en el licor mezcla (g/m^3).

NO_x: Concentración de nitrógeno total que hay en el agua residual y que hay que eliminar (mg/l).

NH₄-N Concentración de amonio presente en el agua (mg/l).

R_{nit}: Velocidad a la que se oxida el amonio a nitrato en condiciones aerobias (g/d).

R_{desnit}: Es la velocidad a la que reduce el nitrato presente en el agua a nitrógeno gas (g/d).

f₁: Fracción del caudal que entra a la primera etapa anóxica del reactor biológico.

f₂: Fracción del caudal que entra a la segunda etapa anóxica del reactor biológico.

f₃: Fracción del caudal que entra a la tercera etapa anóxica del reactor biológico

MLSS_{RAS}: Concentración de sólidos suspendidos que recirculan desde el decantador secundario hasta el reactor biológico (mg/l).

b_{AOB}: Tasa de descomposición endógeno específica de las bacterias oxidantes del amonio $\text{gVSS eliminado}/\text{gVSS}\cdot\text{d}$.

μ_{AOB} : Tasa de crecimiento específica de bacterias oxidantes de amonio, ($\text{g VSS}/\text{g VSS}\cdot\text{d}$).

μ_{max} : Tasa de crecimiento máxima de bacterias oxidantes de amonio ($\text{g VSS}/\text{g VSS}\cdot\text{d}$).

K_{0, AOB} : Coeficiente de velocidad media de demanda de oxígeno para AOB (mg/L).

K_{NH} : Coeficiente de velocidad media para el NH₄-N, (mg/L).

Y_{AOB} es el rendimiento de síntesis de biomasa ($\text{g biomasa producida}/\text{g de sustrato producido}$).

F/M: Relación entre la cantidad de sustrato presente en el agua residual y los microorganismos presentes. Cuando se agota el sustrato, la actividad de las bacterias cesa dando lugar a su muerte ($\text{g}/\text{g}\cdot\text{d}$).

S₀: Demanda química de oxígeno biodegradable (mg/l).

NbVSS: Sólidos secos volátiles no biodegradables (mg/l).

N_{síntesis}: Nitrógeno presente en el agua que se usa para la síntesis de los microorganismos (mg/l).

SDNR₂₀: Velocidad de desnitrificación del nitrato a 20°C (g/g·d).

SDNR₁₅: Velocidad de desnitrificación del nitrato a 15°C (g/g·d).

Q_{inf}: Caudal que entra a cada etapa anóxica del reactor biológico procedente del decantador primario (m³/s).

R₀ Es la demanda de oxígeno en las etapas aerobias del sistema (kg/h).

P_{x,bio} Biomasa producida por los microorganismos heterótrofos (kg/d).

SOTR_{pw}: Eficacia de transferencia de oxígeno estándar del agua residual.

SOTE_{cw}: Eficacia de transferencia de oxígeno estándar del agua limpia.

β: Factor de corrección de la concentración de saturación de oxígeno con la salinidad.

τ: Factor de corrección de la variación de la concentración de saturación del oxígeno en el agua con la temperatura estudiada.

w: Factor altitud del terreno.

C*_{∞,20}: Concentración media de saturación de oxígeno disuelto en el medio acuoso en tiempo infinito a 20 °C (g/m³).

C*_{∞,15}: Concentración media de saturación de oxígeno disuelto en el medio acuoso en tiempo infinito a 15°C (g/m³).

C: Concentración media de oxígeno disuelto en el medio acuoso (g/m³).

Re Reynolds es un número adimensional que caracteriza el movimiento de un fluido en la tubería.

ε: Rugosidad que presenta la tubería según el material del cual está formada.

f: Coeficiente de rozamiento.

ΔFR: Pérdida de energía mecánica producida en los accidentes (J/kg).

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

ΔF_T : Pérdida de energía mecánica producida en los tramos rectos de la tubería (J/kg).

ΔF : Pérdida de energía mecánica total en las tuberías (J/kg).

h_s : Carga del sistema necesaria para impulsar el fluido en la tubería (m).

h_b : Carga que suministra la bomba para impulsar el fluido que circula por las tuberías (m).

NPSH: Carga neta de aspiración total (m).

5. LEYES Y DECRETOS

1. Directiva el REAL DECRETO 509/1996, de 15 de marzo, de desarrollo del Real Decreto-/Ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas.
2. Real Decreto-Ley 11/1995 de 28 de diciembre, que establece que todos los Estados Miembros adoptarán las medidas necesarias para garantizar que el agua será tratada antes de verterla al medio natural.
3. Directiva 91/721/CEE artículo 1 y 2 define los sistemas de recogida, tratamiento y vertido de las aguas residuales urbanas.
4. Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico que desarrolla los títulos preliminares, I, IV, V, VI, VII y VIII del texto refundido de la Ley de Aguas, aprobado por el Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio
5. Real Decreto 1627/1997 de 24 de octubre, que establece las disposiciones mínimas de seguridad y de salud que deben de aplicarse en las obras de construcción.
6. Ley 31/1995, de 8 de noviembre. Ley de Prevención de Riesgos Laborales.
7. Real Decreto 39/1997, del 17 de enero. Reglamento de los Servicios de Prevención. Estatuto de los Trabajadores.
8. 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.
9. 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.
10. UNE-15001-2014 Esta norma desarrolla los criterios básicos que un proyecto debe contener y sirve de guía a todo técnico ejerciente en la redacción de proyectos de producto, obras, edificios, instalaciones y servicios.
11. Norma UNE-EN 1329. Sistemas de canalización en materiales plásticos para evacuación de aguas residuales (a baja y a alta temperatura) en el interior de la estructura de los edificios. Poli(cloruro de vinilo) no plastificado (PVC-U). Parte 1: Especificaciones para tubos, accesorios y el sistema.
12. Ley 31/1995, de 8 de noviembre. Ley de Prevención de Riesgos Laborales.

- 13.** LEY 54/2003, de 12 de diciembre, de reforma del marco normativo de la prevención de riesgos laborales.
- 14.** Ley 38/1999. Ley de Ordenación de la Edificación.
- 15.** Norma UNE-EN 17176-2019 Sistemas de canalización en materiales plásticos para suministro de agua, riego, saneamiento y alcantarillado, enterrado o aéreo, con presión. Poli (cloruro de vinilo) no plastificado orientado (PVC-O). Parte 1: Generalidades.

6. ANÁLISIS DE SOLUCIONES

La depuración de aguas residuales consta de varias operaciones unitarias, que tienen como finalidad la eliminación de los contaminantes presentes de tal modo que se pueda verter el agua en el medio natural sin ser ningún peligro para la fauna marina y de forma que se cumpla la Ley que garantiza el cuidado del medio ambiente.

Existen diferentes tipos de tratamientos biológicos de aguas residuales y estos se pueden clasificar atendiendo a dos criterios: el tipo de proceso y el tipo de metabolismo:

Hoy en día existen dos tipos de procesos básicos de tratamiento secundario que pueden aplicarse: los lechos bacterianos y los fangos activados. En estos tratamientos, se emplean cultivos biológicos para conseguir descomponer la materia orgánica, pasándolos a compuestos más estables.

En los lechos bacterianos, los microorganismos se desarrollan alrededor de una masa porosa a través de la cual se hace circular el agua residual y el oxígeno y a medida que el agua va pasando van degradando la materia orgánica y las sustancias contaminantes. En cambio, en los tratamientos con fango activo los microorganismos se encuentran en suspensión en el agua y son ellos los que buscan la materia orgánica a degradar.

En la tabla M.4 se muestran unas consecuencias prácticas de ambos casos, que conviene tener en cuenta a la hora de seleccionar que tratamiento aplicar.

Tabla M.4 Diferencias entre biomasa fija y biomasa en suspensión

	Biomasa fija	Biomasa en suspensión
Espacio requerido	Bajo	Alto
CAPEX (costes de inversión)	Alto	Bajo
OPEX (costes de explotación)	Bajo	Alto
Eliminación de nutrientes	Baja	Alta
Flexibilidad de operación	Media-Baja	Alta
Respuestas a tóxicos y /o inhibidores	Media-Baja	Alta

Según el tipo de metabolismo de los microorganismos, los procesos pueden ser aerobios o anaerobios.

En los sistemas aerobios, el oxígeno es el aceptor final de electrones. Se obtienen altos rendimientos energéticos y un alto crecimiento de fangos. En cambio, en los sistemas anaerobios, el aceptor final de electrones es la propia materia orgánica que actúa como fuente de carbono. En este metabolismo, la mayor parte del carbono se utiliza para la formación de subproductos (biogás) mientras que la fracción de carbono utilizada para la síntesis celular es baja.

En la tabla M.5 se muestran las características de los procesos aerobios y los sistemas anaerobios.

Tabla M.5 Características de los procesos aerobios y anaerobios

	Aerobio	Anaerobio
Concentración de materia orgánica	DQO<3000mg/L	DQO<3000mg/L
Espacio requerido	Muy elevado	Pequeño
Eliminación de nutrientes	Posible	No es posible
CAPEX(costes de inversión)	Bajo	Elevado
OPEX (costes de explotación)	Elevado	Bajo

A continuación, se explican cinco tipos de tratamientos biológicos:

6.1 FANGOS ACTIVOS CONVENCIONALES

Las aguas residuales provenientes del pretratamiento entran al reactor convencional biológico, en el cual se encuentra un cultivo bacteriano en suspensión, que consta de un elevado número de microorganismos agrupados en flóculos, reciben el nombre de (licor mezcla). Mediante aireadores mecánicos (generalmente turbinas y eyectores) se logran unas condiciones aerobias dentro del tanque, además se consigue mantener el licor mezcla homogeneizado, evitando de este modo la sedimentación de los lodos.

El licor mezcla, tras haber estado un tiempo retenido en el reactor (entre 4 y 6 días), pasa a un decantador secundario, donde se separa el efluente depurado de los lodos. Parte de

los lodos se recirculan de nuevo al reactor para mantener una concentración determinada de microorganismos. El resto de lodos se purgan periódicamente.

Se distinguen cinco tipos de operaciones diferenciadas en el reactor biológico

- Oxidación en reactor biológico por medio de los microorganismos.
- Aireación, para suministrar el oxígeno necesario para que se lleve a cabo las reacciones de oxidación
- La decantación donde tiene lugar la separación del efluente y de los lodos.
- La recirculación de los lodos, con el objetivo de mantener la concentración de microorganismos dentro del reactor.
- La extracción de los lodos en exceso.

Ventajas de los fangos activados

- ❖ Tiene un bajo coste de construcción
- ❖ Ocupa un área pequeña de superficie
- ❖ Proporciona una buena estabilización del fango
- ❖ Produce un olor relativamente bajo
- ❖ Elimina un alto porcentaje de DBO₅

Inconvenientes

- ❖ Tiene un alto coste de operación (principalmente debido a los equipos de aireación)
- ❖ Requiere un suministro alto de energía
- ❖ Necesita instrumentación avanzada para controlar los niveles de aireación.

6.2 REACTOR BIOLÓGICO DE MEMBRANA: MBR

El MBR es una combinación de fangos activos y filtración por membranas. Es un sistema muy avanzado que permite obtener agua con la calidad necesaria para ser reutilizada. Este sistema reduce mucho espacio, ya que sustituye el decantador secundario y el tratamiento terciario por una membrana de ultrafiltración (tamaño de poro entre 0,005 μm y 0,1 μm) o de microfiltración (tamaño de poro entre 0,1 y 1 μm) para obtener un efluente libre de sólidos en suspensión y de microorganismos.

A continuación, se muestran las ventajas que presenta la utilización de MBR frente al sistema convencional.

- ❖ Tiene un tamaño compacto y un volumen de 2 a 5 veces inferior que el de un sistema convencional. Esto es debido a que la concentración de fango en el biorreactor es mucho mayor que en un sistema convencional
- ❖ Se consigue una elevada calidad de agua y altos niveles de desinfección. Esto es porque al atravesar la membrana de micro o ultrafiltración, los sólidos suspendidos y los coloides quedan retenidos. Además, la membrana impide el paso de bacterias y virus. Se reduce la utilización de reactivos químicos desinfectantes como es el ozono o el cloro.
- ❖ En el MBR es posible mantener una edad de fango muy elevada que favorece, entre otras cosas, el desarrollo de microorganismos de crecimiento lento como los nitrificantes o bacterias que degradan compuestos complejos. Esto crea un licor de mezcla más activo capaz de degradar una gama más amplia de compuestos.
- ❖ La producción de fangos es un 30-50% inferior. Eso es debido a la alta edad de fangos se logran tasas de utilización de sustrato y constantes de velocidad superiores al sistema convencional. La mayor parte del sustrato se utiliza para obtener energía en lugar de producir biomasa.

A pesar de que el MBR ofrece muchas ventajas, presenta algunos inconvenientes frente al sistema tradicional.

- ❖ Uno de los problemas principales es el ensuciamiento dentro de los poros y la deposición de una capa de lodos sobre la superficie de la membrana, lo cual reduce el flujo de permeado. Por lo cual se precisa de una limpieza de manera física, empleando reactivos para eliminar las incrustaciones.
- ❖ Las unidades de membrana conllevan un alto coste y tienen una vida útil que ronda entre los 5 y 8 años.
- ❖ El MBR requiere de un alto coste energético que ronda entre 0,6 y 1,5 kWh/m³ de agua depurada, mientras que en un sistema convencional se requiere entre 0,38 y 0,48 kWh/m³

- ❖ Se acumulan algunos componentes inorgánicos no filtrables como pueden ser los metales, que son dañinos para los microorganismos y pueden causar problemas de funcionamiento del biorreactor.

6.3 REACTOR BIOLÓGICO SECUENCIAL: SBR

Es un reactor biológico variante del sistema de lodos activados. Consiste en un reactor que opera de forma discontinua secuencial. El sistema consta de cuatro procesos cíclicos: llenado, aireación, anoxia, decantación y vaciado.

Las ventajas que presenta esta configuración son las siguientes:

- ❖ Se obtiene una gran calidad de agua tratada con una menor cantidad de sólidos en suspensión.
- ❖ Mayor resistencia a cambios bruscos de temperatura, ya que permite controlar los ciclos de carga de agua bruta.
- ❖ El control del sistema es sencillo y automático.
- ❖ Se requiere poco espacio, ya que todo el proceso tiene lugar en un solo tanque.
- ❖ Tiene una mayor estabilidad y flexibilidad. Tiene una elevada capacidad de adaptación y tolerancia frente a cambios en la carga orgánica. Se puede variar los tipos de ciclos, así como los tiempos.
- ❖ Eliminación eficiente de DBO₅, nitrógeno y fósforo.
- ❖ Mayor control sobre el crecimiento de microorganismos filamentosos y problemas de decantación
- ❖ Menores costes de inversión ya que no se requieren decantadores secundarios.
- ❖ Requiere menor espacio, ya que tiene un diseño compacto.

Entre las principales desventajas que presenta esta configuración están:

- ❖ Necesidad de un personal técnico con mayor capacitación de exploración, debido a los cambios de parametrización en el funcionamiento del sistema ante cambios de calidad del vertido de la industria
- ❖ Mayor inversión en el sistema de aireación y mayor demanda de energía puntual, debido a la alimentación discontinua del sistema.
- ❖ No se puede aplicar a cualquier tipo de efluente, ya que no tolera la presencia de compuestos tóxicos.

6.4 PROCESO BARDENPHO

El proceso de Bardenpho es una configuración avanzada del proceso convencional de fangos activados, orientado a la eliminación simultánea de materia orgánica y nitrógeno. Para conseguir la eliminación de nitrógeno, será necesario imponer secuencialmente condiciones aerobias (nitrificación) con condiciones anóxicas (desnitrificación) mediante un mínimo de dos etapas.

A continuación, se muestra un esquema del proceso de Bardenpho:

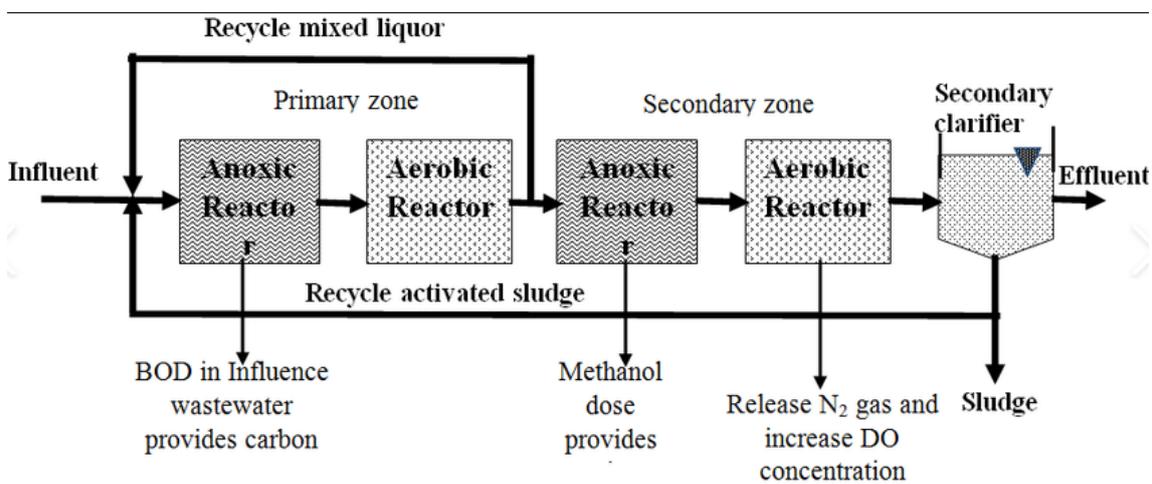


Figura M.6. Proceso de Bardenpho

El proceso Bardenpho consiste en los siguientes pasos:

- El agua procedente del decantador primario entra a la zona anóxica de la primera etapa donde se produce la desnitrificación, es decir el nitrato presente en el agua se reduce a nitrógeno gas que se expulsa a la atmósfera. En esta etapa además llega una corriente de recirculación interna con alto contenido de nitratos desde la zona aerobia que se encuentra a continuación de esta.
- Seguidamente el agua pasa a la zona aerobia de la primera etapa, donde se produce la nitrificación del amonio, es decir se oxida el amonio a nitrato. Parte del caudal que sale de esta zona se recircula a la zona anóxica anterior y el restante pasa a la zona anóxica de la segunda etapa.

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

- En la zona anóxica de la segunda etapa, se repite el proceso de desnitrificación, pero en este caso se adiciona un sustrato externo para poderse llevar a cabo el proceso.
- El agua pasa a la zona aerobia de la segunda etapa, donde se vuelve a producir la nitrificación del amonio.
- El agua que sale de la zona aerobia de la segunda etapa se envía al decantador secundario. Parte de los lodos que llegan al decantador secundario se recirculan a la zona anóxica de la primera etapa del reactor biológico para mantener la actividad biológica.

La principal ventaja que presenta este proceso es:

- Puede alcanzar menores concentraciones de nitratos en el efluente que el sistema convencional para relaciones de DQO/TKN normales en el agua residual

Las desventajas que presenta este sistema son:

- Altos costes debido a la recirculación interna.
- La producción de óxidos de nitrógeno como producto final en lugar de N_2 debido a condiciones microaerofílicas generadas por la recirculación.
- La limitación de fuente de carbono en el tanque anóxico de la primera etapa, causada por la dilución ejercida por la recirculación de nitratos, dando lugar como productos intermedios nitritos y óxidos de nitrógeno.

6.5 PROCESO DE ELIMINACIÓN DE NITRÓGENO POR ETAPAS CON ALIMENTACIÓN DISTRIBUIDA

Este sistema es parecido al Bardenpho, pues consiste en aplicar secuencialmente condiciones aerobias con condiciones anóxicas, de manera que mediante varios procesos de nitrificación y desnitrificación se consigue eliminar el nitrógeno. A diferencia del Bardenpho, este proceso no tiene recirculación interna y no se añade un sustrato externo. Además, en este sistema, la alimentación al reactor es distribuida, es decir el agua se reparte entre las diferentes zonas anóxicas de las diferentes etapas existentes.

En la figura M.7 se muestra un esquema de este proceso.

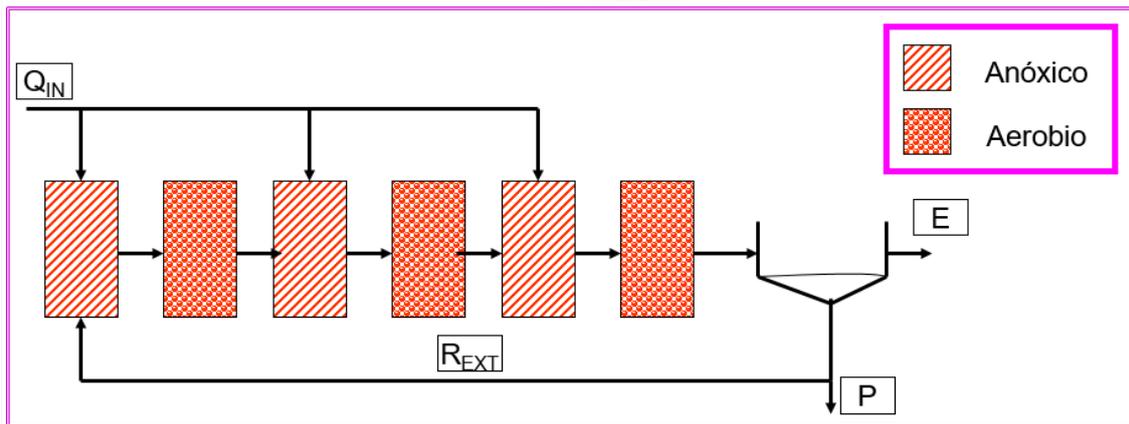


Figura M.7 Proceso de eliminación de nitrógeno por etapas con alimentación distribuida

Este proceso consiste en los siguientes pasos:

- En primer lugar, entra el caudal de recirculación de fangos y la fracción del caudal influente a la zona anóxica de la primera etapa donde se produce una desnitrificación del nitrato.
- A continuación, el caudal que ha entrado a la zona anóxica, sale hacia la zona aerobia de la primera etapa donde se produce la nitrificación del amonio y se consume la gran parte de la materia orgánica (DBO_5).
- El caudal de agua que sale de la primera etapa junto a la fracción del caudal influente perteneciente a la segunda etapa, entran a la zona anóxica de la segunda etapa donde se produce otra nitrificación.
- Posteriormente la corriente de agua entra a la zona aerobia donde se produce una nitrificación.

El mismo procedimiento se repite para las diferentes etapas existentes en el reactor.

Este sistema presenta las siguientes características:

- Mayor eficacia del sistema y se consigue obtener una calidad de agua que cumpla con la normativa.
- El valor de los sólidos secos volátiles (MLVSS) disminuye desde la primera etapa hasta la última. De manera que, en las etapas iniciales hay mayor contenido de sólidos solubles por lo cual, la velocidad de reacción es más alta mientras que en las últimas etapas, la velocidad de reacción es menor por lo cual

la concentración de bacterias es menor y resulta adecuada para entrar al decantador secundario.

- Los reactores no tienen por qué ser simétricos, pueden tener volúmenes diferentes.
- Las velocidades de reacción son más altas que en un reactor convencional.

6.6 INSTALACIONES DE PROCESO Y DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

En este apartado, se estudia los diferentes equipos necesarios para llevar a cabo el diseño de un reactor biológico de lodos activados con sistema de nitrificación y desnitrificación.

6.6.1 Conducciones de agua residual

Las conducciones de acero al carbono y acero inoxidable, han sido usados desde siempre para la conducción de aguas residuales. Sin embargo, estos materiales provocan problemas de corrosión, picaduras, escalamiento y pérdida de presión gradual que conllevan a reparaciones excesivas con altos costes en las instalaciones.

En la figura M.8 se muestran las conducciones de acero inoxidable:



Figura M.8 Conducciones de acero inoxidable

Como alternativa a estos materiales, se encuentra el policloruro de vinilo (PVC), perteneciente al grupo de las tuberías plásticas. Este material comparado con los demás materiales plásticos resulta el más económico debido a su bajo coste, además resulta ideal su uso para sistemas de saneamiento, sin presión en el circuito. Presenta una alta resistencia a los químicos evitando corrosiones internas y externas en las tuberías, proporcionando al mismo tiempo bajas pérdidas de fricción. Además, el factor de conductividad térmica es mínima y no requiere mantenimientos. Estas características hacen que este material sea el más utilizado en cuanto a calidad-precio.

En la figura M.9 se muestran las conducciones de PVC:



Figura M.9 Conducciones de PVC

6.6.2 Válvulas

Las válvulas son unos dispositivos mecánicos que regulan, inician o detienen el paso de un fluido por una conducción mediante una pieza movable que abre cierra u obstruye parcialmente un orificio o conducto.

En el sistema es necesario la instalación de las válvulas después de las bifurcaciones y antes de la entrada del agua a cada reactor anóxico para regular el caudal y poder distribuirlo en todo el sistema de la manera deseada.

6.6.3 Bombas de impulsión de aguas residuales

Para impulsar el fluido por medio de las tuberías, es necesario suministrar energía por medio de unas bombas que transforman la energía mecánica en energía hidráulica (velocidad y presión).

Para la selección de bombas para la impulsión de aguas residuales, es importante tener en cuenta el tamaño de los sólidos en suspensión para asegurar un correcto funcionamiento del equipo, y evitar obstruir las secciones de paso de las diferentes partes de las bombas.

Para evitar obstruir las bombas, es necesario limitar el número de álabes o mediante el empleo de impulsores abiertos o semiabiertos, de modo que las secciones para el paso de fluido sean mayores.

Algunos tipos de impulsores comúnmente empleados en la impulsión de aguas residuales son:

Impulsores monocanales (semiabierto y cerrado)

Tiene una forma semiaxial con un álabe continuo largo y un solo sitio de paso del líquido, por lo cual es un impulsor asimétrico que necesita de unos contrapesos que lo equilibren.

Este impulsor no tolera sólidos largos o fibrosos, ni aguas abrasivas, por lo cual se emplea para impulsar aguas negras domésticas, extracción de aguas residuales, lodos y aguas pluviales en estaciones de bombeo o en EDAR. El rendimiento máximo que se alcanza es de 70-75%.

Impulsores de dos canales

Los impulsores de dos canales, no toleran sustancias fibrosas y filamentosas ya que estas pueden entrar en los canales y quedar atrapadas por los bordes delanteros del álabe, provocando atascos en la bomba. Sin embargo, con un buen diseño del borde delantero del álabe, y un paso libre de al menos 100 mm, los impulsores de dos canales se pueden diseñar para circular aguas residuales brutas sin provocar atascos. El rendimiento alcanzable es de 80- 85%.

Impulsores Vortex

El principio de funcionamiento de los impulsores vortex es la formación de un fuerte remolino que aumenta la presión. Se utiliza para líquidos viscosos, compuestos por lodos y partículas sólidas. Además, tolera muy bien sustancias abrasivas.

Este tipo de impulsor es especialmente apto para el bombeo de aguas residuales con fibras largas y sustancias en seco.

6.6.4 Sistemas de aireación de tanques aerobios

Para mantener los reactores aerobios bien aireados, se necesita suministrar aire u oxígeno puro por medio de un sistema de aireación formados por unos difusores sumergido en el agua residual, de unas conducciones por donde circula el aire y de unos soplantes.

Difusores

Los difusores pueden ser de burbuja fina o gruesa. Los de burbuja fina son muy apreciados por su gran eficacia en la transferencia de oxígeno y su ahorro en energía, pues pueden reducir el consumo de energía de aireación desde un 25% hasta un 75%. Con lo que respecta a los difusores de burbuja gruesa, tienen menor rendimiento de aireación, pero en contrapartida, presentan las ventajas de menores costes y menores necesidades de mantenimiento y de limpieza.

Los difusores de aire, pueden adquirir diferentes formas. Entre los más destacados se encuentran los difusores de tubo, que son cilindros largos y estrechos y los difusores de disco tienen formas planas y circulares.

Los difusores de disco de burbuja fina, consisten en membranas de cerámica, plástico o caucho en forma de disco conectadas a un sistema de tuberías y soplantes. Los soplantes hacen circular el aire a través de las tuberías y el aire sale por medio de las membranas del difusor en formas de pequeñas burbujas que airean el tanque y transfieren oxígeno al agua.

Los difusores de disco, son útiles para usar en los tanques de poca profundidad y en sistemas fijos, ya que presentan alta longevidad y mínimos requisitos de mantenimiento.

Las ventajas de estos difusores son:

- Mínimas necesidades de mantenimiento
- Mayor vida útil.
- Tasa de fallo más lenta, ya que al tener unos orificios más pequeños que los difusores de tubo, al producirse una grieta, la fuga de aire es más lenta que en un orificio más grande.
- Mayor eficiencia en la transferencia de oxígeno, debido al pequeño tamaño de burbujas.

Las desventajas de los difusores de disco son los siguientes:

- Requiere un área mayor ya que no son tan compactos como los difusores de tubo, por lo que resulta difícil distribuirlos en un tanque pequeño.
- Mayor coste que los difusores tubulares.

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

- Mayor tiempo de trabajo al usarse más acero inoxidable en los difusores de disco, se necesita mayor tiempo de instalación.

En las figuras M.10 y M.11 se muestran los difusores de disco:



Figura M.10. Difusores de disco



Figura M.11. Conjunto de difusores de disco

Los difusores tubulares, tienen un funcionamiento similar a los de disco.

Las ventajas que presentan son:

- Diseño mejorado. Al ser estrechos, pueden caber mayor cantidad de difusores en tanques pequeños.
- Mayor capacidad de mezcla. Los difusores tubulares producen burbujas relativamente grandes que permiten una capacidad de mezcla mayor.
- Menor coste. Los difusores tubulares generalmente están formados en mayor parte por plástico o caucho, que resultan más económicos que el acero inoxidable.
- Flotabilidad neutra.
- Reducción del tiempo de trabajo: Al tener menor cantidad de acero inoxidable necesaria para los difusores tubulares, se reduce el tiempo de trabajo y montaje.

Las desventajas de los difusores tubulares son las siguientes:

- Mayores necesidades de mantenimiento
- Vida útil más corta
- Mayor probabilidad de fallo catastrófico. Dado que los orificios son más grandes que los difusores de disco, en caso de que un edificio se agrieta, se escapa enormes cantidades de oxígeno.
- Menor eficiencia en la transferencia de oxígeno. Las burbujas de mayor tamaño, tienen una menor eficiencia en la transferencia de oxígeno.
- Beneficios mínimos con sistemas fijos y tanques poco profundos.

En la figura M.12 se muestran los difusores tubulares



Figura M.12 Difusores tubulares

6.7 SOLUCIÓN ADOPTADA

Después de analizar las diferentes alternativas, la solución adoptada consistirá en un proceso de eliminación de nitrógeno por etapas, con alimentación distribuida. Para ello, por medio de unos tabiques, se separará cada reactor presente en la planta en tres etapas, cada una de estas etapas formadas por una zona anóxica seguida de una zona aerobia.

Se instalarán unas arquetas de entrada en el inicio de cada etapa anóxica, de tal manera que el agua procedente del decantador primario se repartirá entre dichas arquetas para entrar posteriormente al reactor.

Los fangos de recirculación alimentarán únicamente a la primera etapa anóxica de los reactores.

Los diferentes equipos que se instalan en el sistema son los siguientes:

- Conducciones de PVC para el transporte del agua residual desde el decantador primario hacia las arquetas de entrada de los reactores biológicos y para el transporte del caudal de recirculación desde la arqueta de fangos hasta las arquetas de la primera etapa
- Válvulas de asiento que sirven para regular el caudal de agua residual y el caudal de recirculación que entra a cada etapa.
- Difusores de burbuja fina en forma de disco para la aireación de los reactores aerobios.
- Bombas de impulsión de agua vortex para impulsar el caudal de agua que sale del decantador primario y para impulsar el caudal de recirculación de fangos procedente del decantador secundario.

7. RESULTADOS FINALES

El diseño realizado aprovecha los dos reactores ya existentes con un volumen total de 1320 m³. En la tabla M.8, se muestra el volumen total y el volumen unitario que tiene cada etapa de reacción, tanto en su zona anóxica como en su zona aerobia, así como el caudal influente a la zona anóxica, el caudal de recirculación de fangos y los sólidos suspendidos en el licor mezcla.

Tabla M.8 Volumen total y unitario de cada reactor

	Etapa 1		Etapa 2		Etapa 3	
	Anóxico	Aerobio	Anóxico	Aerobio	Anóxico	Aerobio
Volumen total (m ³)	120	192	150	252	180	306
Volumen individual(m ³)	60	96	75	126	90	153
Ancho de cada reactor (m)	2	3,2	2,5	4,2	3	5,1
Caudal de recirculación de fangos	0,6Q		-		-	
Caudal influente de agua a la zona anóxica (m ³ /d)	0,5Q		0,25Q		0,25Q	
MLSS (g/m ³)	4363,64		3555,56		3000	

Todos los reactores tendrán:

- ❖ 5 m de profundidad
- ❖ 6 m de largo

Además, será necesario instalar tabiques que separen las etapas. En total se instalarán 5 tabiques en cada reactor de 10 m³ cada uno. Los tabiques tendrán un espesor de 0,4 m y un largo de 5m, ya que se dejará un metro de espacio para que el caudal pase desde la etapa anóxica hasta la etapa aerobia.

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

El caudal de recirculación necesario para obtener una concentración de sólidos volátiles de 3.000mg/L en el último reactor es:

$$Q_{\text{ras}}=0,6Q$$

Para 15°C se obtiene:

- ❖ Tiempo de residencia (SRT) de 5,63 días
- ❖ NO_x a eliminar de 40,09 g/m³
- ❖ NH₄-N de salida del sistema de 3,76 g/m³
- ❖ NO₃-N de salida del sistema de 9,26 g/m³
- ❖ Nitrógeno total de salida de 13,02 g/m³

Para 20°C se obtiene:

- ❖ Tiempo de residencia (SRT) de 5,96 días
- ❖ NO_x a eliminar de 40,79 g/m³
- ❖ NH₄-N de salida del sistema de 0,70 g/m³
- ❖ NO₃-N de salida del sistema de 10,01 g/m³
- ❖ Nitrógeno total de salida de 10,72 g/m³

8. PLANIFICACIÓN

Para llevar a cabo el proyecto, se necesita un plan de obras que determine la duración de cada una de las actividades que componen el proyecto. Este plan es una propuesta orientativa que se desarrolla y se justifica por la empresa Contratista adjudicataria de las obras.

Así pues, se definen las diferentes actividades de obras que conforman el proyecto y se fija la duración aproximada de cada una de estas actividades, teniendo en cuenta los rendimientos que se han considerado en la justificación de precios y el número de equipos previsto.

La duración de cada actividad se ha determinado en jornadas laborales. Para ello se ha considerado que cada jornada laboral es de 8 horas, con cinco días de trabajo semanal. Por lo que se estima un periodo de 22 días laborales por mes de ejecución.

A la duración del proyecto, se le añade 10 días de más de margen para evitar retrasos y acabar las obras en el día planificado. Este margen de días se ha considerado en caso de que se produzcan días con climatología adversa o en caso de que surja cualquier imprevisto.

En la tabla M.9 se muestra las diferentes actividades que componen las obras y la duración de cada una de ellas, teniendo en cuenta los días festivos y los fines de semana.

Tabla M.9 Actividades que componen la obra

Fase	Descripción	Duración (días laborables)	Fecha de inicio	Fecha de finalización
1	Entrega y aceptación del proyecto	10	15/11/2021	26/11/2021
2	Corte de alimentación a los reactores y vaciado	2	29/11/2021	30/12/2021
3	Encofrado para la instalación de los tabiques	7	01/12/2021	15/12/2021
4	Hormigonado de los tabiques	30	16/12/2021	31/01/2022
5	Instalación de las arquetas de entrada a cada etapa	5	01/02/2022	07/02/2022
6	Instalación de las tuberías, de las válvulas y de las bombas	25	08/02/2022	14/03/2022
7	Automatización	15	15/03/2002	05/04/2022
8	Puesta en marcha	15	06/04/2022	29/04/2022

Según la planificación se necesitará 165 días para acabar el proyecto, de los cuales 109 días son laborales, y el resto de días son fines de semana o días festivos. La fecha prevista de finalización será el 29 de abril de 2022.

En la figura M.13 se muestra el diagrama de Gantt para visualizar de manera más fácil la planificación del proyecto:

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

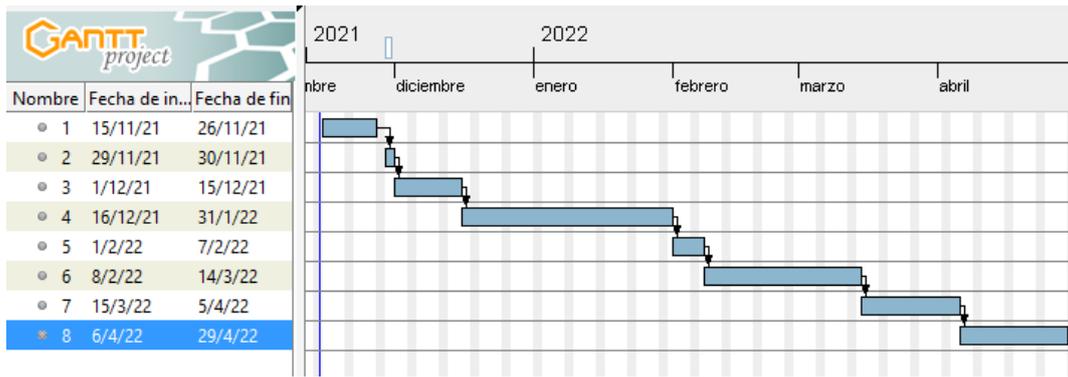


Figura M.13 Diagrama de Gantt

9. ORDEN DE PRIORIDAD ENTRE LOS DOCUMENTOS

Según la norma UNE-157001-2014, el proyecto debe de estar redactado de manera que sea correctamente interpretado por cualquier persona ajena al redacto del documento y deber de contener los siguientes documentos en el orden de prioridad siguiente:

1. Índice General
2. Memoria
3. Anexos
4. Planos
5. Pliego de condiciones.
6. Presupuesto

10. VIABILIDAD ECONÓMICA

10.1 RESUMEN DEL PRESUPUESTO

10.1.1 PEM

El presupuesto de ejecución por material consta de 6 partes, llamadas partidas presupuestarias. En la tabla M.10 se muestran estas partidas y el coste de cada una de ellas:

Tabla M.10. PEM

PARTIDA	DESCRIPCIÓN	COSTE (€)
1	Equipos	122925,00
2	Hormigón armado	7939,02
3	Conducciones	959,09
4	Accesorios	20430,49
5	Obra civil	23180,00
6	Seguridad y Salud	3045,072
	TOTAL	178478,67

10.1.2 PEC

El presupuesto de ejecución por contrata se calcula teniendo en cuenta el beneficio industrial. Queda de la siguiente manera:

$$\text{PEC} = \text{PEM} + \text{Gastos generales} + \text{Beneficio industrial}$$

Tabla M.11 PEC parcial

PEM	178478,67 €
Gasto Generales	21417,44 €
Beneficio Industrial	10708,72 €
PEC _{parcial}	210604,83 €

El PEC total se calcula añadiendo el 21 % de IVA.

Tabla M.12 PEC total

PEC Parcial	210604,83 €
IVA 21%	44227,01 €
PEC Total	254831,84 €

10.2 PRESUPUESTO DE EXPLOTACIÓN

El presupuesto de explotación, detalla los gastos previstos de un año.

10.2.1 Gastos directos

Los gastos directos hacen referencia a los costes relacionados con el proceso de tratamiento biológico, como pueden ser el consumo eléctrico anual de todos los equipos instalados. La mayoría de los equipos son los mismos que había inicialmente en la planta, antes de realizar la modificación, por lo que no se tendrán en cuenta al realizar el estudio de viabilidad económica. El único equipo que hay que tener en cuenta en los gastos directos, es la bomba de impulsión de aguas residuales ya que inicialmente en la planta no estaba instalada una bomba para impulsar el líquido desde la arqueta del decantador primario hasta el reactor, ya que este fluía por gravedad.

Se considera que el kW/h está a 0,272 € y la bomba funciona 24 horas.

Tabla M.13 Consumo eléctrico anual

Equipo	Unidades en funcionamiento	Potencia consumida (Kw/h)	Horas de funcionamiento anuales (h)	Precio (€)
Bomba de impulsión de agua residual	1	10,97	8760,00	26138,44

10.2.2 Gastos indirectos

Los gastos indirectos no están relacionados con la producción, es decir tienen un valor fijo. Estos gastos, engloban el alumbrado, personal, limpieza prevista, mantenimiento preventivo por imprevistos, etc. Estos gastos ya se encuentran en la planta existente por lo cual no se tienen en cuenta a la hora de realizar la viabilidad económica.

10.2.3 Gastos totales

Los gastos totales anuales serán la suma de los gastos directos e indirectos. Como en este proyecto solo se tiene en cuenta los gastos directos producidos por el funcionamiento de la bomba de impulsión del caudal de agua residual, el gasto total anual es de: 26138,44 €.

10.2.4 Amortizaciones

La amortización se define como la pérdida de valor que tiene un bien físico a medida que pasa el tiempo. La amortización se determina a partir del cociente entre la inversión inicial de los diferentes equipos que se amortizan y el número de años que se requieren para amortizar los equipos.

En la tabla M.14 se muestran los equipos que se van a amortizar y el coste de amortización para 10 años.

Tabla M.14. Amortización de los equipos

Equipo	Cantidad	Precio/unidad (€/unidad)	Precio total ((€)	Amortización (€/año)
Bomba sumergible de aguas residuales	1	6445,00	6 455,0	644,45
Bomba sumergible de fangos de recirculación	1	19309,00	19309,00	1930,9
Difusores de burbuja fina Xylem	643	37,28	23971,04	2971,04
Parrilla de difusores	6	12200,00	12200,00	1220,00
TOTAL				6766,39

10.3 BENEFICIO

Con la modificación realizada en este proyecto, no se consiguen ganancias ya que este diseño se ha realizado con el fin de poder cumplir con las normas dictadas por la legislación. Por lo tanto, para poder realizar la viabilidad económica se tendrá en cuenta los cánones de vertido al dominio hidráulico. Se determinará el importe del canon de control de vertidos para aguas residuales con tratamiento adecuado y sin tratamiento adecuado para determinar el importe que se consigue ahorrar después de realizar la modificación en el reactor biológico. Este ahorro se considera el beneficio económico que aporta este proyecto.

El importe del canon de control de vertidos será el producto del volumen de vertido autorizado por el precio unitario de control de vertido. Este precio unitario se calculará multiplicando el precio básico por metro cúbico por un coeficiente de mayoración o minoración (K), establecido en el Anexo IV del Real Decreto 849/1996, por el que se aprueba el Reglamento de Dominio Público Hidráulico (RDPH) en función de la naturaleza, características y grado de contaminación del vertido, así como por la mayor calidad ambiental del medio físico en que se vierte. El coeficiente de mayoración no podrá ser superior a 4.

El precio básico por metro cúbico se fija en 0,01751 € para el agua residual urbana, y en 0,04377 € para el agua residual industrial; precios actualizados según el Real Decreto Ley 1/2021.

El cálculo del coeficiente de mayoración o minoración se obtiene, para cada uno de los dos tipos de vertido indicados en el apartado 1, Naturaleza del vertido, del resultado de multiplicar los factores correspondientes a cada clase de los apartados 2, 3 y 4 siguientes.

1. Naturaleza del vertido.
 - Agua residual urbana o asimilable (*).
 - Agua residual industrial.

2. Características del vertido.
 - Urbanos hasta 1.999 habitantes-equivalentes (**)= 1.
 - Urbanos entre 2.000 y 9.999 habitantes-equivalentes (**)= 1,14.
 - Urbanos a partir de 10.000 habitantes-equivalentes (**)= 1,28.
 - Industrial clase 1 (***)= 1.
 - Industrial clase 2 (***)= 1,09.

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

- Industrial clase 3 (***) = 1,18.
 - Clase 1, 2 o 3 con sustancias peligrosas (****) = 1,28.
3. Grado de contaminación del vertido.
- Urbanos con tratamiento adecuado (**) = 0,5.
 - Urbanos sin tratamiento adecuado (**) = 2,5.
 - Industrial con tratamiento adecuado (**) = 0,5.
 - Industrial sin tratamiento adecuado (**) = 2,5.
4. Calidad ambiental del medio receptor (*****).
- Vertido en zona de categoría I = 1,25.
 - Vertido en zona de categoría II = 1,12.
 - Vertido en zona de categoría III = 1.

El agua que se trata en la planta es agua residual urbana procedente de urbanas a partir de 10.000 habitantes equivalentes y la zona de vertido es zona de la categoría I ya que se deposita en el mar que es una zona declarada agua de baño.

El agua tratada que se obtiene antes de realizar la modificación del tratamiento biológico no tiene un tratamiento adecuado ya que el nitrógeno presente en el agua supera los valores límites de emisión. Una vez realizada la modificación de dicho tratamiento, el agua que se obtiene tiene un tratamiento adecuado. El precio del canon de vertido antes y después de la modificación es:

$$\text{canon antes de la modificación} = 0,01751 \cdot 1,28 \cdot 2,5 \cdot 1,25 = 0,07004 \text{ €/m}^3$$

$$\text{canon después de la modificación} = 0,01751 \cdot 1,28 \cdot 0,5 \cdot 1,25 = 0,014008 \text{ €/m}^3$$

El ahorro en canon que se obtiene después de la modificación es:

$$\text{Ahorro} = 0,07004 - 0,014008 = 0,056032 \text{ €/m}^3$$

Si el caudal de agua residual tratada diariamente es de 6.000 m³/d, el ahorro anual en cánones de vertido será:

$$\text{Ahorro anual} = \frac{0,056032 \text{ €}}{\text{m}^3} \cdot \frac{6000 \text{ m}^3}{\text{dia}} \cdot 365 \text{ días} = 122710,08 \text{ €/año}$$

Con este diseño realizado, obtiene un ahorro anual de 122710,08 €/año

10.3.1 Beneficio Bruto

El beneficio bruto es el beneficio que se obtiene por una empresa en un periodo de tiempo determinando y se determina restando a los ingresos, los gastos que se producen al largo del año, sin tener en cuenta los impuestos y las amortizaciones correspondientes.

$$\text{Beneficio bruto} = \text{Ingresos} - \text{Gastos}$$

Para poder conocer el beneficio bruto habrá que conocer los ingresos y los gastos de cada año, para ello se ha de tener en cuenta el IPC (Índice de Precios al Consumo), un valor que mide la evolución del conjunto de precios de los bienes y servicios con el tiempo. Este valor es de 2,5%. Los gastos totales y los ingresos totales de cada año quedan de la siguiente manera:

$$\text{Ingresos totales} = \text{Ingresos}_{\text{año } 0} \cdot (1 + \text{IPC})^{\text{año} - 1}$$

$$\text{Gastos totales} = \text{Gastos}_{\text{año } 0} \cdot (1 + \text{IPC})^{\text{año} - 1}$$

En la tabla M.15 se muestran los gastos totales, los ingresos y el beneficio bruto de cada año:

M.15 Beneficio bruto

Horizonte (años)	Gastos totales (€/año)	Ingresos (€/año)	Beneficio bruto (€/año)
1	26138,44	1227110,08	96571,64
2	26791,901	125777,83	98985,93
3	27461,901	128922,83	101460,58
4	28148,241	132145,33	103997,09
5	28851,947	135448,96	106597,02
6	29573,25	138835,192	109261,95
7	30312,58	142306,07	111993,50
8	31070,39	145863,72	114793,33
9	31847,15	149510,317	117663,17
10	32643,33	153248,075	120604,75

10.3.2 Beneficio neto

Para determinar el beneficio neto, hay que restarle al beneficio bruto un 30% de impuestos de sociedades y la amortización anual, quedando de la siguiente manera su cálculo:

$$\text{Beneficio neto} = \text{Beneficio bruto} - 0,3 \cdot (\text{Beneficio bruto} - \text{Amortización})$$

La amortización anual se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$\text{Amortización} = \text{Amortización}_{\text{año } 0} \cdot (1 + \text{IPC})^{\text{año} - 1}$$

En la tabla M.16 se muestra el beneficio neto anual:

Tabla M.16 Beneficio neto

Horizonte (años)	Beneficio bruto (€/año)	Amortización (€/año)	Beneficio neto (€/año)
1	96571,64	6766,39	69630,07
2	98985,93	6935,55	71370,82
3	101460,58	7108,94	73155,09
4	103997,09	7286,66	74983,96
5	106597,02	7468,83	76858,56
6	109261,95	7655,56	78780,03
7	111993,50	7846,94	80749,53
8	114793,33	8043,11	82768,27
9	117663,17	8244,19	84837,47
10	120604,75	8450,29	86958,41
TOTAL			78009,22

10.4 FLUJO DE CAJA

El flujo de caja es la acumulación neta de activos líquidos en un periodo de tiempo, es decir los ingresos y las salidas económicas que se producen. El flujo de caja se determina a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{FC} = \text{Beneficio neto} + \text{Amortización}$$

En la tabla M.17 se muestra el flujo de caja de cada año:

Tabla M.17 Flujo de caja

Horizonte (años)	Beneficio neto (€/año)	Amortizaciones (€/año)	Flujo de caja (€/año)
1	69630,07	6766,39	76396,46
2	71370,82	6935,55	78306,37
3	73155,09	7108,94	80264,03
4	74983,96	7286,66	82270,63
5	76858,56	7468,83	84327,39
6	78780,03	7655,56	86435,58
7	80749,53	7846,94	88596,47
8	82768,27	8043,11	90811,38
9	84837,47	8244,19	93081,66
10	86958,41	8450,29	95408,70

10.5 VALOR ACTUAL NETO (VAN)

El Valor Actual Neto (VAN) es un indicador de la rentabilidad absoluta neta que proporciona el proyecto. Pueden darse tres situaciones distintas:

- VAN < 0, Indica que el proyecto no es rentable para el periodo de tiempo establecido.
- VAN = 0, Indica que el proyecto no genera ni pérdidas ni ganancias.
- VAN > 0, Indica que el proyecto es rentable ya que las ganancias son mayores que los costes.

El VAN se determina de la siguiente manera:

$$VAN = -I_0 + \sum_{n=1}^{n=10} \frac{FC}{(1+i_r)^n}$$

Donde:

- I₀: Inversión inicial (€): 254.831,84 €
- FC: Flujo de caja (€/año).
- i_r: Interés real, en el caso evaluado se tiene un valor de 1,28%.
- n: Periodo de tiempo (año).

En la tabla M.19 se muestran los datos obtenidos del VAN

M.19. VAN

Horizonte (años)	Flujo de caja (€/año)	VAN
1	76396,46	-179400,91
2	78306,37	-103061,34
3	80264,03	-25802,20
4	82270,63	52387,58
5	84327,39	131519,23
6	86435,58	211604,08
7	88596,47	292653,62
8	90811,38	374679,47
9	93081,66	457693,38
10	95408,70	541707,27

El proyecto sale rentable a partir del 4º año.

10.6 TASA DE RENTABILIDAD INTERNA (TIR)

El TIR es una media geométrica de los rendimientos futuros esperados de una inversión, se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$0 = -I_0 + \sum_{n=1}^{n=10} \frac{FC}{(1+TIR)^n}$$

Para que en el 10º año el VAN sea 0, el TIR debe ser 29,6 %

Horizonte	Flujo de caja (€/año)	TIR
1	76396,46	-195888,83
2	78306,37	-149274,94
3	80264,03	-112411,28
4	82270,63	-83258,41
5	84327,39	-60203,44
6	86435,58	-41970,89
7	88596,47	-27552,05
8	90811,38	-16149,19
9	93081,66	-7131,47
10	95408,70	0

10.7 PERIODO DE RETORNO (PR)

El periodo de retorno (PR) es un parámetro que indica cuanto se tarda aproximadamente en recuperar la inversión inicial de un proyecto. Se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$PR = \frac{\text{Inversión Inicial}}{\text{Beneficio neto anual promedio}}$$

Siendo:

I_0 : Inversión inicial = 254.831,84 €

Beneficio neto anual: 78009,22 €

El PR que se obtiene es: 3,26 años

11.REFERENCIAS

11.1 SOFTWARE EMPLEADO

- Word
- Excel
- AutoCAD
- GanttProject

11.2 BIBLIOGRAFÍA

Metcalf & Eddy(2004),Wastewater Engineering Treatment and Resource Recovery McGraww Hill: USA, Fifth Edition

MºDolores Rodrigo Carbonell (2003) Operaciones básicas de flujo de fluidos. Materials,158. Ed: Publicacions de la Universitat Jaume I

A.Cvan Haandel and J.G.M van der Lubbe Handbook of Biological Wastewater Treatment: Design and Optimisation of Activated Sludge System. Volumen 11 2nd edition. Ed: IWA Publishing

Aurelio Hernández Muñoz Depuración y desinfección de aguas residuales 6ª Edición COLEGIO DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS.

Apuntes académicos asignatura EQ1031 “Proyectos de Ingeniería” Grado en Ingeniería Química por la Universitat Jaume I.

11.3 WEBGRAFÍA

[Capítulo: General \(usal.es\)](http://usal.es)

[ESCASEZ DE AGUA: qué es, causas, consecuencias y mucho más \(magicanaturaleza.com\)](http://magicanaturaleza.com)

[CTMA-El agua como recurso.pdf \(xunta.es\)](http://xunta.es)

[El consumo mundial de agua aumenta la frecuencia y la intensidad de los periodos de caudal más bajo en ríos y arroyos | iAgua](http://iAgua)

[Ingeniería de tratamiento de aguas residuales: Procesos biológicos aerobios – Estrucplan](http://Estrucplan)

[Tratamiento biológico de aguas residuales | Condorchem Envitech](http://Condorchem Envitech)

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

[Diseño y Automatización de la Aireación de un Reactor Biológico de una E.D.A.R by Benjamin Martinez Sanchez \(prezi.com\)](#)

[Aguas Industriales | EDAR | ETAP](#)

2. ANEXOS

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

ÍNDICE ANEXOS

ANEXO N°1 CÁLCULOS

ANEXO N°2: ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD

ANEXO N°3: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

ANEXO N° 1: CÁLCULOS DE DISEÑO

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

ÍNDICE

1. DISEÑO DEL TRATAMIENTO BIOLÓGICO.....	1
1.1 DATOS DE PARTIDA.....	2
1.2 DISEÑO DEL TRATAMIENTO BIOLÓGICO PARA 15°C	3
1.2.1 Cálculo del caudal de recirculación RAS.....	4
1.2.2 Balance de materia de sólidos suspendidos (MLSS).....	5
1.2.2.1 Balance de sólidos en la 1ª etapa	5
1.2.2.2 Balance de sólidos en la 2ª etapa	6
1.2.2.3 Balance de sólidos en la 3ª etapa	6
1.2.3 Cálculo del tiempo de residencia SRT	7
1.2.4 Cálculo de MLVSS, Biomasa y Nitrificantes	9
1.2.5 Balance de materia al amonio NH₄-N	12
1.2.5.1 Balance de materia al reactor aerobio 1	13
1.2.5.2 Balance de materia al reactor aerobio 2	13
1.2.5.3 Balance de materia al reactor aerobio 3.....	14
1.2.6 Balance de materia al nitrato (NO₃-N)	15
1.2.6.1 Cálculo de la velocidad de desnitrificación	15
1.2.6.2 Balance de materia a los nitratos (NO₃-N).....	16
1.3 DISEÑO DEL TRATAMIENTO BIOLÓGICO PARA 20°C	18
2 DISEÑO DEL SISTEMA DE AIREACIÓN	19
2.1 DATOS PREVIOS	22
2.2 DEMANDA DE OXÍGENO, FLUJO DE AIRE Y N° DE DIFUSORES A 15°C.....	23
2.2.1 Reactor aerobio 1	23
2.2.2 Reactor aerobio 2.....	24
2.2.3 Reactor aerobio 3.....	25
2.3 DEMANDA DE OXÍGENO, FLUJO DE AIRE Y N° DE DIFUSORES A 20°C	26
2.3.1 Reactor aerobio 1	26
2.3.2 Reactor aerobio 2.....	27
2.3.3 Reactor aerobio 3	27

2.4 RESULTADOS FINALES	29
3 DISEÑO DE LAS CONDUCCIONES	29
3.1 CONDUCCIONES DE FANGO DE RECIRCULACIÓN	29
3.1.1 Tramo 1	31
3.1.2 Tramo 2.....	33
3.1.3 Balance de energía mecánica en conducciones de fango	35
3.1.3.1 BEM 1 para las conducciones de fango de recirculación...35	
3.1.3.2 BEM 2 para las conducciones de fango de recirculación...36	
3.1.3.3 BEM 3 para las conducciones de fango de recirculación...37	
3.2 CONDUCCIONES DE AGUA RESIDUAL	40
3.2.1 Tramo 1	42
3.2.2 Tramo 2.....	43
3.2.3 Tramo 3	44
3.2.4 Tramo 4	44
3.2.5 Tramo 5	46
3.2.6 Tramo 6	48
3.2.7 Balance de energía mecánica conducciones de agua residual	49
3.2.7.1 BEM 1 para las conducciones de agua residual.....50	
3.2.7.2 BEM 2 para las conducciones de agua residual.....51	
3.2.7.3 BEM 3 para las conducciones de agua residual.....52	

1. DISEÑO DEL TRATAMIENTO BIOLÓGICO

En este apartado, se lleva a cabo todos los cálculos necesarios para diseñar el tratamiento biológico, consistente en un proceso de eliminación de nitrógenos por etapas con alimentación distribuida. Cada reactor biológico consistirá en tres etapas, cada una de las cuales formadas por una zona anóxica seguida de una zona aerobia. El caudal de agua residual procedente del decantador primario se repartirá entre las zonas anóxicas de las diferentes etapas, tal como se muestra en la figura A1.1. Por otro lado, el caudal de recirculación de fangos procedente del decantador secundario entrará a la zona anóxica de la primera etapa.

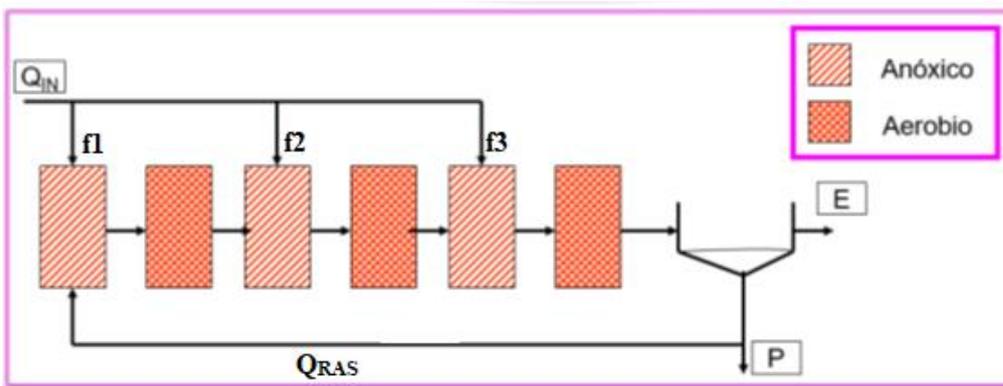


Figura A1.1 Esquema del tratamiento biológico

A continuación, se detallan los datos de partida necesarios para poder llevar a cabo los cálculos.

1.1 DATOS DE PARTIDA

Las características del agua residual que llega al tratamiento biológico, se detallan en la tabla A1.1.

Tabla A1.1 Características del agua residual que llega al reactor biológico

PÁRAMETROS	VALOR
Volumen total (m ³)	1320
Volumen de cada reactor	660
Caudal (m ³ /d)	6000
DBO ₅ (g/m ³)	210
bDQO (g/m ³)	250
DQO (g/m ³)	250
TSS (g/m ³)	85
VSS (g/m ³)	55,25
TKN (g/m ³)	50

Los cálculos realizados y la elección de los parámetros más apropiados se han realizado en una hoja de cálculo Excel, mediante un proceso de optimización y cálculos iterativos. A continuación, se muestra una tabla con los volúmenes y la fracción de caudal que entra a cada etapa.

Tabla A1.2 Volumen de cada reactor y fracción de caudal que entra a cada etapa

	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
Volumen anóxico	120	150	180
Volumen aerobio	192	252	306
Fracción del caudal	0,5	0,25	0,25

Para la última etapa, se ha fijado una fracción del caudal pequeña, ya que, al ser la última etapa, los nitratos formados no se podrán eliminar del sistema.

El diseño se realiza para dos temperaturas diferentes: 15°C y 20°C, a fin de representar la temperatura del agua en verano y en invierno en la localidad de Benicàssim.

1.2 DISEÑO DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO PARA 15°C

Para realizar los cálculos, se partirá de 15°C, ya que, a esta temperatura, el crecimiento de los microorganismos es más lenta y por tanto las condiciones del sistema son más desfavorables. En la tabla A1.3 se muestran los valores de diseño obtenidos para 15°C:

Tabla A1.3 Resultados obtenidos para el diseño del tratamiento biológico a 15°C

	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
RAS	0,60		
X_{RAS} (g/m ³)	8000		
Q (m ³ /d)	6600	8100	9600
MLSS(g/m ³)	4363,64	3555,56	3000,00
MLVSS(g/m ³)	2832,49	2307,96	1947,34
Biomasa	2508,47	2043,94	1724,57
Nitrificadores	115,33	93,97	79,29
SRT (días)	5,63		
NO _x a eliminar (g/m ³)	40,09		
AEROBIO			
(NH ₄ -N) _{supuesto de recirculación} (g/m ³)	3,76		
NH ₄ -N (g/m ³) entrada	20,27	15,14	11,32
NH ₄ -N (g/m ³) reactor	9,47	5,99	3,76
R _{nitrificación} (g/d)	71309,82	74103,38	72595,78
g NO ₃ -N/m ³ producido	10,80	9,15	7,56
ANÓXICO			
NO ₃ -N _{supuesto de recirculación} (g/m ³)	9,26		
F/M _b (g/g·d)	2,09	1,03	1,01
SDNR ₂₀ (g/g·d)	0,34	0,24	0,24
SDNR ₁₅ (g/g·d)	0,30	0,21	0,21
NO ₃ -N eliminado (g/d)	89789,84	64399,74	64726,50
NO ₃ -N que entra a cada etapa (g/d)	33330,96	71309,82	81013,46
NO ₃ -N después del anóxico (g/d)	0,00	6910,07	16286,96
NO ₃ -N Prod. en aerobio (g/d)	71309,82	74103,38	72595,78

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

A continuación, se explica detalladamente los pasos realizados para obtener los resultados de la tabla A1.3:

1.2.1 Cálculo del caudal de recirculación (RAS)

El tratamiento biológico, tiene un volumen total de 1320 m³, de los cuales 450 m³ pertenecen al conjunto de reactores anóxicos, 750m³ pertenecen al conjunto de los reactores aerobios, 100m³ pertenecen a los tabiques y 20 m³ pertenecientes al espacio por donde pasa el agua desde las zonas anóxicas hacia las zonas aerobias y viceversa.

$$V_T = V_{\text{anox}} + V_{\text{aerobio}} + V_{\text{tabiques}} + V_{\text{espacio.vacio}} \quad (A1.1)$$

Para conocer el caudal de fangos que recircula hacia el primer reactor anóxico, será necesario en primer lugar fijar los valores siguientes:

- MLSS_{RAS}, que es la concentración de sólidos suspendidos que recirculan desde el decantador secundario hasta el reactor anóxico de la primera etapa. Este valor suele estar entre 8000 y 10000 g/m³.
- MLSS_{última etapa} es la concentración de sólidos suspendidos en la última etapa del tratamiento biológico.

Mediante un balance de materia total al sistema se determina el caudal que recircula (RAS):

$$\text{Entrada} = \text{Salida}$$

En términos de concentración y caudal se quedaría:

$$MLSS_{\text{RAS}} \cdot Q \cdot \text{RAS} = MLSS_4 \cdot (1 + \text{RAS}) \cdot Q \quad (A1.2)$$

Donde:

- MLSS_{RAS} (g/m³) la concentración de sólidos que recircula desde el decantador secundario hasta el decantador primario.
- Q (m³/h) es el caudal a tratar en el sistema.
- RAS es la fracción del caudal que recircula desde el decantador secundario hasta la primera etapa del tratamiento biológico.
- MLSS₄ (g/m³) es la concentración de sólidos suspendidos en la última etapa.

Simplificando la ecuación, se quedaría:

$$MLSS_{RAS} \cdot RAS = MLSS_4 \cdot (1 + RAS) \quad (A1.3)$$

Despejando el valor del RAS:

$$RAS = \frac{MLSS_4}{MLSS_{RAS} - MLSS_4} \quad (A1.4)$$

Sustituyendo los valores fijados en la ecuación A.1.4 se obtiene:

$$RAS = \frac{3000}{8000 - 3000} = 0,6$$

1.2.2 Balance de materia de los sólidos suspendidos (MLSS)

A continuación, se realiza un balance de sólidos en cada una de las etapas que conforman el sistema, para poder conocer la concentración de sólidos suspendidos en el licor mezcla:

1.2.2.1 Balance de sólidos en la 1ª etapa

Al primer reactor anóxico, entra la fracción de caudal procedente del tratamiento primario, y el caudal de recirculación procedente del decantador secundario. Por lo cual el balance de materia para los sólidos en la primera etapa quedaría de la siguiente manera:

$$MLSS \text{ en influente} + MLSS \text{ Caudal Recirculación} = MLSS \text{ 1ª etapa}$$

Que es lo mismo a:

$$f_1 \cdot Q \cdot (0) + RAS \cdot Q \cdot MLSS_{RAS} = (f_1 + RAS) \cdot Q \cdot MLSS_1 \quad (A1.5)$$

Simplificando se quedaría:

$$RAS \cdot MLSS_{RAS} = (f_1 + RAS) \cdot MLSS_1$$

Despejando $MLSS_1$ se obtiene:

$$MLSS_1 = \frac{RAS \cdot MLSS_{RAS}}{(f_1 + RAS)}$$

Sustituyendo los valores en la ecuación se obtiene:

$$MLSS_1 = \frac{0,60 \cdot 8000}{(0,5 + 0,6)} = 4363,6 \text{ g/m}^3$$

1.2.2.2 Balance de sólidos en la 2ª etapa

Al segundo reactor anóxico, entra la fracción de caudal procedente del decantador primario y el caudal que sale de la primera etapa. Por lo cual el balance de materia para los sólidos en la segunda etapa quedaría de la siguiente manera:

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

$$\text{MLSS en influente} + \text{MLSS 1}^{\text{a}} \text{ etapa} = \text{MLSS 2}^{\text{a}} \text{ etapa}$$

Que es lo mismo a:

$$f_2 \cdot Q \cdot (0) + (f_1 + \text{RAS}) \cdot Q \cdot \text{MLSS}_1 = (f_2 + f_1 + \text{RAS}) \cdot Q \cdot \text{MLSS}_2 \quad (\text{A1.6})$$

Simplificando se quedaría:

$$(f_1 + \text{RAS}) \cdot \text{MLSS}_1 = (f_2 + f_1 + \text{RAS}) \cdot \text{MLSS}_2$$

Despejando MLSS_2 se obtiene:

$$\text{MLSS}_2 = \frac{(f_1 + \text{RAS}) \cdot \text{MLSS}_1}{(f_2 + f_1 + \text{RAS})}$$

Sustituyendo los valores en la ecuación anterior se obtiene:

$$\text{MLSS}_2 = \frac{(0,50 + 0,60) \cdot 4363,64}{(0,25 + 0,5 + 0,60)} = 3555,56 \text{ g/m}^3$$

1.2.2.3 Balance de sólidos en la 3ª etapa

Al tercer reactor anóxico, entra la fracción de caudal procedente del decantador primario y el caudal que sale de la segunda etapa. Por lo cual el balance de materia para los sólidos en la tercera etapa quedaría de la siguiente manera:

$$\text{MLSS en influente} + \text{MLSS 2}^{\text{a}} \text{ etapa} = \text{MLSS 3}^{\text{a}} \text{ etapa}$$

Que es lo mismo a:

$$f_3 \cdot Q \cdot (0) + (f_2 + f_1 + \text{RAS}) \cdot Q \cdot \text{MLSS}_2 = (f_3 + f_2 + f_1 + \text{RAS}) \cdot Q \cdot \text{MLSS}_3 \quad (\text{A1.7})$$

Simplificando se quedaría:

$$(f_2 + f_1 + \text{RAS}) \cdot \text{MLSS}_2 = (f_3 + f_2 + f_1 + \text{RAS}) \cdot \text{MLSS}_3$$

Despejando MLSS_3 se obtiene:

$$\text{MLSS}_3 = \frac{(f_2 + f_1 + \text{RAS}) \cdot \text{MLSS}_2}{(f_3 + f_2 + f_1 + \text{RAS})}$$

Sustituyendo los valores en la ecuación anterior se obtiene:

$$\text{MLSS}_3 = \frac{(0,25 + 0,5 + 0,6) \cdot 3555,558}{(0,25 + 0,25 + 0,5 + 0,6)} = 3000 \text{ g/m}^3$$

Los datos obtenidos de los sólidos en suspensión en el licor mezcla, se resumen en la tabla siguiente:

Tabla A1.4 Concentración de Sólidos en suspensión totales en cada etapa del reactor

Etapa	MLSS (mg/l)
1	4363,64
2	3555,56
3	3000,00

1.2.3 Cálculo del tiempo de residencia SRT

En este apartado, se determina el tiempo que han de estar los microorganismos en el interior del reactor biológico para poder alcanzar las concentraciones de sólidos suspendidos previstas en la tabla A1.4.

Las ecuaciones que determinan los parámetros de crecimiento de los microorganismos y su variación con la temperatura con respecto a los parámetros a 20°C se muestran a continuación:

$$b_{n,15} = b_{20} \cdot 1,04^{(T-20)} \quad (A1.8)$$

$$b_{H,15} = b_{AOB,20} \cdot \theta^{T-20} \quad (A1.9)$$

$$\mu_{max, AOB,15} = \mu_{max, AOB,20} \cdot \theta^{T-20} \quad (A1.10)$$

En la tabla A1.5 se muestran los parámetros de crecimiento de dichos microorganismos, para 15°C y 20°C:

Tabla A1.5 Parámetros de crecimiento de los microorganismos a 15 y 20°C

Parámetros	Unidades	Nitrificantes	Heterótrofos
$\mu_{max,AOB,20}$	g VSS/g VSS· d	0,90	
K_{NH4}	g/m ³	0,50	
K_0	g/m ³	0,50	
Y_{AOB}	g VSS/g sustrato oxidado	0,15	0,45
$b_{n,20}$ $b_{H,20}$	gVSS/gVSS·d	0,17	0,12
f_d			0,15
$\mu_{max,AOB,15}$	g VSS/g VSS· d	0,64	
$b_{n,15}$ $b_{H,15}$	gVSS/gVSS·d	0,144	0,099

Para determinar el tiempo de residencia de los microorganismos dentro del tanque aerobio, se iguala la cantidad total de microorganismos en el sistema a la capacidad de producción de microorganismos, durante el tiempo de permanencia de éstos en los reactores (SRT, edad del fango), tal como se muestra en la ecuación A1.11:

$$Masa = \sum X_i \cdot V_i = (P_{X, TSS}) \cdot (SRT) \quad (A1.11)$$

Donde:

- X_i (g/m³) es la concentración de sólidos en cada etapa.
- V_i (m³) el volumen de los reactores en cada etapa.
- $P_{X, TSS}$ (g/días) es la producción de lodos.

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

- SRT (días) es el tiempo de residencia de los microorganismos dentro de cada etapa.

Desglosando la ecuación, se obtiene:

Por un lado:

$$\sum X_i \cdot V_i = MLSS_1 \cdot (V_{anox.1} + V_{aerobio1}) + MLSS_2 \cdot (V_{anox.2} + V_{aerob.2}) + MLSS_3 \cdot (V_{anox.3} + V_{aerobio3}) \quad (A1.12)$$

Sustituyendo los valores de los sólidos suspendidos en cada etapas y de los volúmenes de los reactores se obtiene:

$$\sum X_i \cdot V_i = 4363,64 \cdot (120+192) + 3555,56 \cdot (150+252) + 3000 \cdot (180+306) = 4248790 \text{ g} = 4248,79 \text{ kg}$$

Por otro lado:

$$(P_{X, TSS}) \cdot (SRT) = \frac{Q \cdot Y_H \cdot S_0 \cdot SRT}{[1 + b_H \cdot SRT] \cdot (0,85) \cdot \left(\frac{1000g}{1kg}\right)} + \frac{f_d \cdot b_H \cdot Q \cdot Y_H \cdot S_0 \cdot SRT^2}{[1 + b_H \cdot SRT] \cdot (0,85) \cdot \frac{1000g}{1kg}} +$$

$$\frac{Q \cdot Y_n \cdot (NO_x) \cdot SRT}{[1 + b_n \cdot (SRT)] \cdot (0,85) \cdot \left(\frac{1000g}{1kg}\right)} + \frac{Q \cdot nbVSS \cdot SRT}{\frac{1000g}{1kg}} + \frac{Q \cdot (TSS - VSS) \cdot SRT}{\frac{1000g}{kg}} \quad (A1.13)$$

Para poder realizar los cálculos, se supondrá un valor de NO_x a eliminar:

$$NO_x = 40,09 \text{ g/m}^3$$

Sustituyendo los valores conocidos de la tabla A1.1 y la tabla A1.5 en la ecuación A1.13, se obtiene:

$$(P_{X, TSS}) \cdot (SRT) = \frac{6000 \cdot 0,45 \cdot 250 \cdot SRT}{[1 + 0,099 \cdot SRT] \cdot (0,85) \cdot \left(\frac{1000g}{1kg}\right)} + \frac{0,15 \cdot 0,099 \cdot 6000 \cdot 0,45 \cdot 250 \cdot SRT^2}{[1 + 0,099 \cdot SRT] \cdot (0,85) \cdot \frac{1000g}{1kg}} +$$

$$\frac{6000 \cdot 0,15 \cdot 40,09 \cdot SRT}{[1 + 0,144 \cdot (SRT)] \cdot (0,85) \cdot \left(\frac{1000g}{1kg}\right)} + \frac{6000 \cdot 0 \cdot SRT}{\frac{1000g}{1kg}} + \frac{6000(85 - 55,25) \cdot SRT}{\frac{1000g}{kg}}$$

Simplificando se obtiene:

$$(P_{X, TSS}) \cdot (SRT) = \frac{794,12 \cdot SRT}{[1 + 0,099 \cdot SRT]} + \frac{11,79 \cdot SRT^2}{[1 + 0,099 \cdot SRT]} + \frac{42,45 \cdot SRT}{[1 + 0,144 \cdot (SRT)]} + 0 + 178,5 \cdot SRT$$

Igualando el valor $\sum X_i \cdot V_i$ a $(P_{X, TSS}) \cdot (SRT)$ y despejando el valor de SRT se obtiene:

$$SRT = 5,63 \text{ días}$$

1.2.4 Cálculo de MLVSS, Biomasa y Nitrificantes

Los sólidos suspendidos en licor mezclan (MLSS) están constituidos por:

- ❖ Biomasa de heterótrofos que se calcula a partir de la ecuación A1.14:

$$\frac{Q \cdot Y_H \cdot S_0 \cdot SRT}{[1 + b_H \cdot SRT] \cdot (0,85) \cdot \left(\frac{1000g}{1kg}\right)} \quad (A1.14)$$

- ❖ Desecho Celular que se calcula a partir de la ecuación A1.15:

$$\frac{f_d \cdot b_H \cdot Q \cdot Y_H \cdot S_0 \cdot SRT^2}{[1 + b_H \cdot SRT] \cdot (0,85) \cdot \frac{1000g}{1kg}} \quad (A1.15)$$

- ❖ Nitrificantes que se calcula a partir de la ecuación A1.16:

$$\frac{Q \cdot Y_n \cdot (NO_x) \cdot SRT}{[1 + b_n \cdot (SRT)] \cdot (0,85) \cdot \left(\frac{1000g}{1kg}\right)} \quad (A1.16)$$

- ❖ Sólidos secos volátiles no biodegradables (nbVSS), que se calcula a partir de la ecuación A1.17.

$$\frac{Q \cdot (nbVSS) \cdot SRT}{\frac{1000g}{1kg}} \quad (A1.17)$$

- ❖ Materia Inorgánica Inerte que se obtiene a partir de la ecuación A1.18.

$$\frac{Q(TSS - VSS) \cdot SRT}{\frac{1000g}{kg}} \quad (A1.18)$$

Se considera que los sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclan son un 85% de los heterótrofos, del desecho celular y de los nitrificantes.

En la tabla A1.6 se muestra los sólidos suspendidos totales y los sólidos suspendidos volátiles de cada componente para una temperatura de 15°C.

Tabla A1.6 Sólidos suspendidos totales y volátiles para 15°C

	MLVSS, kg	MLSS, kg
Heterótrofos	2442,34	2873,46
Desecho celular	203,21	239,07
Nitrificantes	112,29	132,10
NbVSS	0,0	0,0
Inorgánico inerte		1004,15
Total	2757,94	4248,79

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

El porcentaje de sólidos suspendidos volátiles en el licor mezcla es:

$$\text{MLVSS}_{\text{TOTALES}}/\text{MLSS}_{\text{TOTALES}} \text{ (A1.19)}$$

La fracción de biomasa suspendida se obtiene a partir de la fórmula siguiente:

$$\text{Biomasa} = \text{MLVSS}_{\text{Heterótrofos}}/\text{MLVSS}_{\text{Total}} \text{ (A1.20)}$$

A continuación, se determina la cantidad de NO_x necesaria para el crecimiento de los Nitrificantes:

$$\text{Producción diaria (kg/d)} = \frac{\text{Heterótrofos} + \text{Desecho celular}}{\text{SRT}} \text{ (A1.21)}$$

$$\text{N usado para síntesis} = 0,12 \text{ (g N/g VSS biomasa)} \cdot \text{Producción diaria} \text{ (A1.22)}$$

La concentración de Nitrógeno de síntesis es:

$$\text{N}_{\text{síntesis}} = \frac{\text{N}_{\text{síntesis}} \cdot \frac{1000\text{g}}{1\text{kg}}}{Q} \text{ (A1.23)}$$

El nitrógeno de síntesis se eliminará con el fango, por lo tanto, el nitrógeno total a eliminar del sistema será:

$$\text{NO}_x \text{ a eliminar} = \text{TKN} - \text{N}_{\text{síntesis}} - \text{NH}_4\text{-N} \text{ (A1.24)}$$

Siendo el valor de NH₄-N igual a 0,5 g/m³

Una vez conocido el NO_x a eliminar, se recalcula la masa de nitrificantes usando la ecuación A1.16.

A continuación, se corrige el valor de MLVSS a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{MLVSS corregido} = \text{MLVSS}_{\text{totales}} - \text{MLVSS}_{\text{Nitrificantes}} + \text{MLVSS}_{\text{Nitrificantes-correcto}} \text{ (A1.25)}$$

La fracción de nitrificantes será:

$$\text{Fracción de nitrificantes} = \text{MLVSS}_{\text{nitrificantes}} / \text{MLVSS}_{\text{correctos}} \text{ (A1.26)}$$

En la tabla A1.7 se muestra un resumen de los datos obtenidos para la temperatura de 15°C.

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

Tabla A1.7. MLVSS/MLSS, Biomasa, Producción diaria, N de síntesis, NO_x a eliminar, Masa de Nitrificantes, MLVSS corregido y fracción de Nitrificantes para 15°C

	15°C
MLVSS/MLSS	0,65
Biomasa	0,89
Producción diaria(kg/d)	470,30
N usado para síntesis(kg/d)	56,44
N_{syn} (g/m³)	9,41
NO_x a eliminar (g/m³)	40,09
Masa De Nitrificantes kg VSS	112,30
MLVSS corregido	2757,95
Fracción de nitrificantes	0,041

De la tabla A1.7 se obtiene que:

- ❖ NO_x a eliminar cuando se trabaja a 15°C es 40,09 g/m³, valor que coincide con el que se ha supuesto a la hora de calcular SRT, por lo que se considera que la iteración realizada es correcta.

Por otro lado, se obtiene que:

$$\text{Biomasa a } 15^{\circ}\text{C} = 0,89 \cdot \text{MLVSS}$$

$$\text{Nitrificantes a } 15^{\circ}\text{C} = 0,041 \cdot \text{MLVSS}$$

En la tabla A1.8 muestra una tabla resumen de la concentración de sólidos suspendidos totales en el licor mezcla, de los sólidos suspendidos volátiles, de la biomasa y los nitrificantes en cada reactor para 15°C

Tabla A1.8. Concentración de los componentes del licor mezcla.

	1ª ETAPA	2ª ETAPA	3ª ETAPA
MLSS (g/m³)	4363,64	3555,56	3000,00
MLVSS (g/m³)	2832,49	2307,96	1947,34
Biomasa, X_b (g/m³)	2508,47	2043,94	1724,57
Nitrificantes, X_{AOB} (g/m³)	115,33	93,97	79,29

1.2.5 Balance de materia al amonio (NH₄-N)

A continuación, se determina la concentración de amonio que entra a cada reactor aerobio, la concentración que sale de cada reactor y la velocidad de nitrificación.

La concentración de amonio que entra a cada reactor aerobio se determina mediante la ecuación A1.27:

$$NH_{4\text{entrada}} = \frac{NO_x \cdot Q \cdot f_x + NH_{4,\text{recirculación}} \cdot Q_{\text{recirculación}}}{Q_{\text{salida}}} \quad (A1.27)$$

Donde:

- ❖ NO_x es la concentración de nitrógeno presente en el caudal influente procedente del decantador primario (g/m³).
- ❖ f_x es la fracción del caudal influente que entra a cada etapa.
- ❖ Q es el caudal de agua total procedente del decantador primario (m³/d).
- ❖ NH₄_{Recirculación} es la concentración de amonio presente en el caudal de recirculación (g/m³) de las etapas anteriores.
- ❖ Q_{recirculación} es el caudal de recirculación que entra al reactor, procedente de la etapa anterior (m³/d).
- ❖ Q_{salida} es el caudal de agua residual que sale de cada etapa (m³/d).

Mediante un balance de materia al amonio se obtenido la velocidad de nitrificación del amonio

$$Q_{\text{influyente}} \cdot NO_x + Q_{\text{Recirculación}} \cdot NH_{4,\text{Recirculación}} - R_{\text{nitrificación}} = Q_{\text{salida}} \cdot NH_{4\text{salida}} \quad (A1.28)$$

La velocidad cinética de nitrificación es:

$$R_n(\text{g/d}) = \frac{\mu_{\text{maxAOB}}}{Y_{\text{AOB}}} \cdot \left(\frac{NH_4}{KNH_4 + NH_4} \right) \left(\frac{DO}{K_{0,\text{AOB}} + DO} \right) \cdot X_{\text{AOB}} \cdot V \quad (A1.29)$$

Donde:

- μ_{max}: Tasa de crecimiento máxima de bacterias oxidantes de amonio (g VSS/g VSS·d).
- Y_{AOB} es el rendimiento de síntesis de biomasa (g biomasa producida/ g de sustrato producido).
- NH₄ es la concentración de amonio que queda después de la reacción (g/m³).
- KNH₄ Coeficiente de velocidad media para el NH₄-N, (g/m³)
- DO es la demanda de oxígeno necesaria para que los microorganismos lleven a cabo su función y tiene un valor de 2,0 g/m³.
- V es el volumen aerobio de cada una de las etapas.
- X_{AOB} es la concentración de nitrificantes presente en cada una de las etapas.

El nitrato NO₃-N producido será:

$$g \text{ NO}_3\text{-N}_{\text{producido}} / m^3 = R_n / Q_{\text{salida}} \quad (A1.30)$$

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

El cálculo de los parámetros de los reactores es un proceso iterativo que se efectúa en una hoja de cálculo y para ello ha de suponerse la concentración de amonio que saldrá de la última etapa de reacción y se reciclará en parte al primer reactor.

Al realizar los cálculos con esa concentración de salida, se obtiene un nuevo valor de amonio a la salida de la última etapa que se utiliza como un nuevo valor supuesto y los cálculos se repiten hasta que la concentración supuesta y la calculada coincidan.

Aquí se detalla el último cálculo de la secuencia, que conduce a la solución final y corresponde a un valor de amonio a la salida de 3,76 g/m³.

1.2.5.1 Balance de materia al reactor aerobio 1

A partir de la ecuación A1.23 se obtiene que el amonio que entra a la 1º etapa es:

$$(\text{NH}_4)_{\text{ENTRADA}} = \frac{\text{NO}_x \cdot Q \cdot f_1 + \text{NH}_{4,\text{recirculación}} \cdot Q \cdot \text{RAS}}{Q \cdot (f_1 + \text{RAS})} = \frac{40,09 \cdot 0,5 + 3,76 \cdot 0,6}{0,5 + 0,6} = 20,27 \text{ g/m}^3$$

El balance de materia de NH₄ en el reactor aerobio 1 es:

$$f_1 \cdot Q \cdot \text{NO}_x + \text{RAS} \cdot Q \cdot \text{Ne} - R_{\text{nit1,balance}} = (f_1 + \text{RAS}) \cdot Q \cdot \text{NH}_{4,1}$$

Sustituyendo los valores conocidos se obtiene:

$$0,5 \cdot 6000 \cdot 40,09 + 0,6 \cdot 6000 \cdot 3,76 - R_{\text{nit1,balance}} = (0,5 + 0,6) \cdot 6000 \cdot \text{NH}_{4,1}$$
$$133806 - R_{\text{nit1,balance}} = 6600 \cdot \text{NH}_{4,1}$$

La velocidad de nitrificación cinética es:

$$R_{\text{nit1,cinética}} = \frac{\mu_{\text{maxAOB}}}{Y_{\text{AOB}}} \cdot \left(\frac{\text{SNH}_{4,1}}{K_{\text{NH}_{4,1}} + \text{SNH}_{4,1}} \right) \left(\frac{\text{D0}}{K_{0,\text{AOB}} + \text{D0}} \right) \cdot X_{\text{AOB1}} \cdot V_1$$
$$R_{\text{nit1,cinética}} = \frac{0,64}{0,15} \cdot \left(\frac{\text{NH}_{4,1}}{0,5 + \text{NH}_{4,1}} \right) \left(\frac{2}{0,5 + 2} \right) \cdot 115,33 \cdot 192$$
$$R_{\text{nit1,cinética}} = 75582,67 \cdot \left(\frac{\text{NH}_{4,1}}{0,5 + \text{NH}_{4,1}} \right)$$

Despejando se obtiene:

- ❖ $R_{\text{nit,1}} = 71309,82 \text{ g/m}^3$
- ❖ $\text{NH}_{4,1} = 9,47 \text{ g/m}^3$

El nitrato producido es:

$$\text{g NO}_3\text{-N producido /m}^3 = 71309,82 / 6600 = 10,80 \text{ g/m}^3$$

1.2.5.2 Balance de materia al reactor aerobio 2

El amonio que entra a la etapa 2 es:

$$(\text{NH}_4)_{\text{ENTRADA}} = \frac{\text{NO}_x \cdot Q \cdot f_2 + \text{NH}_{4,1} \cdot Q \cdot (f_1 + \text{RAS})}{f_2 + f_1 + \text{RAS}} = \frac{40,09 \cdot 0,25 + 9,47(0,5 + 0,6)}{0,25 + 0,5 + 0,6} = 15,14 \text{ g/m}^3$$

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

El balance de materia de NH₄ en el reactor aerobio 2 es:

$$f_2 \cdot Q \cdot \text{NO}_x + (f_1 + \text{RAS}) \cdot Q \cdot \text{NH}_{4,1} - R_{\text{nit}2, \text{balance}} = (f_2 + f_1 + \text{RAS}) \cdot Q \cdot \text{NH}_{4,2}$$

Despejando los valores conocidos se obtiene:

$$0,25 \cdot 6000 \cdot 40,09 + (0,5 + 0,6) \cdot 6000 \cdot 9,47 - R_{\text{nit}2, \text{balance}} = (0,25 + 0,5 + 0,6) \cdot 6000 \cdot \text{NH}_{4,2}$$

$$122637 - R_{\text{nit}2, \text{balance}} = 8100 \text{ NH}_{4,2}$$

La velocidad de nitrificación cinética es:

$$R_{\text{nit}2, \text{cinética}} = \frac{\mu_{\text{maxAOB}}}{Y_{\text{AOB}}} \cdot \left(\frac{\text{SNH}_{4,2}}{\text{KNH}_4 + \text{SNH}_{4,2}} \right) \left(\frac{\text{D}_0}{K_{0, \text{AOB}} + \text{D}_0} \right) \cdot X_{\text{AOB}2} \cdot V_2$$

$$R_{\text{nit}2, \text{cinética}} = \frac{0,64}{0,15} \cdot \left(\frac{\text{SNH}_{4,2}}{0,5 + \text{SNH}_{4,2}} \right) \left(\frac{2}{0,5 + 2} \right) \cdot 93,97 \cdot 252$$

$$R_{\text{nit}2, \text{cinética}} = 80829,24 \cdot \left(\frac{\text{SNH}_{4,2}}{0,5 + \text{SNH}_{4,2}} \right)$$

Despejando se obtiene

- ❖ R_{nit,2} = 74103,38 g/d,
- ❖ NH_{4,2} = 5,99 g/m³

El nitrato producido será:

$$\text{g NO}_3\text{-N producido / m}^3 = 74103,38 / 8100 = 9,15 \text{ g/m}^3$$

1.2.5.3 Balance de materia al reactor aerobio 3

El amonio que entra a la etapa 3 es:

$$(\text{NH}_4)_{\text{ENTRADA}} = \frac{\text{NO}_x \cdot Q \cdot f_3 + \text{NH}_{4,2} \cdot Q \cdot (f_2 + f_1 + \text{RAS})}{f_3 + f_2 + f_1 + \text{RAS}} = \frac{40,09 \cdot 0,25 + 5,99 \cdot (0,25 + 0,5 + 0,6)}{0,25 + 0,25 + 0,5 + 0,6} = 11,32 \text{ g/m}^3$$

El balance de materia de NH₄ en el reactor aerobio 3 es:

$$f_3 \cdot Q \cdot \text{NO}_x + (f_2 + f_1 + \text{RAS}) \cdot Q \cdot \text{NH}_{4,2} - R_{\text{nit}3, \text{balance}} = (f_3 + f_2 + f_1 + \text{RAS}) \cdot Q \cdot \text{NH}_{4,3}$$

$$0,25 \cdot 6000 \cdot 40,09 + (0,25 + 0,5 + 0,6) \cdot 6000 \cdot 5,99 - R_{\text{nit}3, \text{bal}} = 1,6 \cdot 6000 \cdot \text{NH}_{4,3}$$

$$108654 - R_{\text{nit}3, \text{balance}} = 9600 \cdot \text{NH}_{4,3}$$

La velocidad de nitrificación es:

$$R_{\text{nit}3, \text{cinética}} = \frac{\mu_{\text{maxAOB}}}{Y_{\text{AOB}}} \cdot \left(\frac{\text{SNH}_{4,3}}{\text{KNH}_4 + \text{SNH}_{4,3}} \right) \left(\frac{\text{D}_0}{K_{0, \text{AOB}} + \text{D}_0} \right) \cdot X_{\text{AOB}3} \cdot V_3$$

$$R_{\text{nit}3, \text{cinética}} = \frac{0,64}{0,15} \cdot \left(\frac{\text{SNH}_{4,3}}{0,5 + \text{SNH}_{4,3}} \right) \left(\frac{2}{0,5 + 2} \right) \cdot 79,29 \cdot 306$$

$$R_{\text{nit}3, \text{cinética}} = 83453,95 \cdot \left(\frac{\text{SNH}_{4,3}}{0,5 + \text{SNH}_{4,3}} \right)$$

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

Despejando se obtiene

- ❖ $R_{nit,3} = 72595,78 \text{ g/d}$
- ❖ $NH_{4,3} = 3,76 \text{ g/m}^3$

El nitrato producido será:

$$g \text{ NO}_3\text{-N}_{\text{producido}} / \text{m}^3 = 72595,78 / 9600 = 7,56 \text{ g/m}^3$$

En la tabla A1.9 se muestra un resumen de los datos obtenidos:

Tabla A1.9. Velocidad de nitrificación y concentración de NH_4 en la entrada y en la salida de cada etapa.

Etapa	NH_4 entrada (g/m^3)	NH_4 salida (g/m^3)	R_{nit} (g/d)
1	20,27	9,47	71309,82
2	15,14	5,99	74103,38
3	11,32	3,76	72595,78

1.2.6 Balance de materia al nitrato ($NO_3\text{-N}$)

En este apartado se determina la cantidad de nitratos que sale de cada etapa. Para ello en primer lugar será necesario determinar la velocidad de desnitrificación y posteriormente se realiza un balance de materia al nitrato.

1.2.6.1 Cálculo de la velocidad de desnitrificación

La velocidad de desnitrificación viene dada por la ecuación A.31 para 20°C

$$SDNR_{20} = 0,24 \cdot (F/M) \quad (A1.31)$$

- ❖ Donde F/M es la relación entre la cantidad de sustrato y el crecimiento de los microorganismos y viene dada por la ecuación A1.32:

$$F/M = Q_{inf} \cdot S_0 / V_{anox} \cdot X_b \quad (A1.32)$$

Donde:

- Q_{inf} es el caudal que llega a cada etapa procedente del decantador primario, se obtiene a partir de la ecuación A1.33:

$$Q_{inf} = f_x \cdot Q \quad (A1.33)$$

- S_0 es la demanda química de oxígeno biodegradable:

$$S_0 = bDQO = 250 \text{ mg/l}$$

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

Para conocer la velocidad de desnitrificación a 15°C, será necesario aplicar un factor de corrección, tal como se muestra en la ecuación A1.34:

$$SDNR_{15} = SDNR_{20} \cdot 1,026^{T-20} \quad (A1.34)$$

Los valores obtenidos de F/M y de SDNR a 15°C, se muestran en la tabla A1.10

Tabla A1.10 F/M y SDNR para 15°C

Etapa	Biomasa (X _b) (g/m ³)	Q _{influyente} (m ³ /d)	V _{anóxico} (m ³)	F/M (g/g·d)	SDNR ₂₀ (g/g·d)	SDNR ₁₅ (g/g·d)
1	2508,47	3000	120	2,09	0,34	0,30
2	2043,94	1500	150	1,03	0,24	0,21
3	1724,57	1500	180	1,01	0,24	0,21

1.2.6.2 Balance de materia a los nitratos (NO₃-N)

El nitrato que se elimina en el reactor anóxico de cada etapa, se puede obtener a partir de la ecuación A1.35

$$NO_3-N_{\text{eliminado}} = V_{\text{anox}} \cdot SDNR_T \cdot X_b \quad (A1.35)$$

El nitrato que entra en cada etapa se obtiene a partir de la ecuación A1.36:

$$NO_3-N_{\text{entrada a cada paso}} = NO_3-N_{\text{etapa anterior}} \cdot Q_{\text{recirculación}} \quad (A1.36)$$

El nitrato que permanece después de la desnitrificación se obtiene a partir de la ecuación A1.37:

$$NO_3-N_{\text{despues de desnitrificar}} = NO_3-N_{\text{entrada a cada paso}} - NO_3-N_{\text{eliminado}} \quad (A1.37)$$

Para una temperatura de 15°C, se supondrá inicialmente un valor de NO_x de recirculación de 9,26 g/m³.

En la tabla A1.11 se muestra el NO₃-N eliminado en cada etapa, el que entra en cada etapa el que se queda después de desnitrificar, y el producido en el reactor aerobio.

Tabla A1.11 NO₃-N a 15°C

Etapa	NO ₃ -N _{eliminado} (g/d)	NO ₃ -N _{entrada a cada paso} (g/d)	NO ₃ -N _{despues de desnitrificar} (g/d)	NO ₃ -N _{prod aerobio} (g/d) =Rn
1	89789,84	33330,96	0,00	71309,82
2	64399,74	71309,82	6910,07	74103,38
3	64726,50	81013,46	16286,96	72595,78

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

El nitrato que sale de la última será:

$$\text{NO}_3\text{-N}_{\text{última etapa}} = \text{NO}_3\text{-N}_{\text{despues de desnitrificar) etapa3}} + (\text{NO}_3\text{-N}_{\text{prod aerobic) etapa 3}} / \text{Q}_{\text{total}}$$

$$\text{NO}_3\text{-N}_{\text{última etapa}} = \frac{16286,96 + 72595,78}{1,6 \cdot 6000} = 9,26 \text{ g/m}^3$$

El nitrato que sale de la última etapa coincide con el supuesto inicialmente, por lo cual la iteración es correcta.

El nitrógeno total que sale del sistema es:

$$\text{NH}_4\text{-N}_{\text{salida}} + \text{NO}_3\text{-N}_{\text{salida}} = 3,76 + 9,26 = 13,02 \text{ g/m}^3$$

1.3. DISEÑO DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO PARA 20°C

Viendo los resultados obtenidos para 15°C, se realiza el diseño para una temperatura de 20°C. En la tabla siguiente se muestran los valores que se obtienen para 20°C:

Tabla A1.12 Resultados obtenidos para el diseño del tratamiento biológico a 20°C

	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
RAS	0,60		
X_{RAS} (g/m ³)	8000		
Q (m ³ /d)	6600	8100	9600
MLSS(g/m ³)	4363,64	3555,56	3000,00
MLVSS(g/m ³)	2779,90	2265,10	1911,18
Biomasa	2409,61	1963,39	1656,61
Nitrificadores	111,64	90,96	76,75
SRT (días)	5,96		
NO _x a eliminar (g/m ³)	40,79		
AEROBIO			
(NH ₄ -N) _{supuesto de recirculación} (g/m ³)	0,70		
NH ₄ -N (g/m ³) entrada	18,92	11,46	7,57
NH ₄ -N (g/m ³) reactor	4,79	1,42	0,70
R _{nitrificación} (g/d)	93258,53	81343,22	65911,74
g NO ₃ -N/m ³ producido	14,12	10,04	6,87
ANÓXICO			
NO ₃ -N _{supuesto de recirculación} (g/m ³)	10,01		
F/M _b (g/g·d)	2,18	1,07	1,06
SDNR ₂₀ (g/g·d)	0,34	0,24	0,24
NO ₃ -N eliminado (g/d)	99701,74	72002,70	72380,43
NO ₃ -N _{que entra a cada etapa} (g/d)	36048,96	93258,53	102599,05
NO ₃ -N _{después del anóxico} (g/d)	0,00	21255,83	30218,62
NO ₃ -N _{Prod. en aerobio} (g/d)	93258,53	81343,22	65911,74

2. DISEÑO DEL SISTEMA DE AIREACIÓN

En este diseño, se determina el n° de difusores y el caudal de aire que hay que suministrar a cada uno de los reactores aerobios del sistema. Para ello será necesario seguir los puntos descritos a continuación:

1. Se determina la demanda de O₂ a partir de la ecuación A1.38

$$R_0 = Q_0 \cdot (S_0 - S) - 1,42 \cdot P_{x,bio} + 4,57 \cdot (Q) \cdot NO_x \quad (A1.38)$$

$$R_0 = Q_0 \cdot (S_0 - S) - 1,42 \cdot \left[\frac{Q \cdot Y_H \cdot (S_0 - S)}{1 + b_H \cdot (SRT)} + \frac{(f_d) \cdot (b_H) \cdot Q \cdot (Y_H) \cdot (S_0 - S) \cdot SRT}{1 + b_H \cdot (SRT)} \right] + 4,57 \cdot (Q) \cdot NO_x \quad (A1.38)$$

Siendo:

- ❖ R₀ = Oxígeno total requerido, (g/d)
 - ❖ P_{x,bio} = la biomasa producida por los microorganismos heterótrofos
 - ❖ NO_x = Cantidad de NO₃-N producido por la nitrificación de NH₄ N, g/m³.
2. Se determina el número de difusores necesarios en cada reactor. Para ello será necesario determinar las densidades de los difusores y conocer la superficie de cada reactor.

Las densidades que se estudiarán son:

- 4 difusores/m²
- 5 difusores/m²
- 6 difusores/m²

El ancho y el largo de cada reactor aerobio son los siguientes:

A1.13 Ancho y largo de los reactores aerobios

Reactor aerobio	1	2	3
Ancho (m)	3,2	4,2	5,1
Largo(m)	6	6	6

Se dejará una separación entre los difusores y los tabiques de 0,1 m y se considera el largo de la superficie de aireación de 4,9 m, es decir se deja 0,1 m de distancia entre la pared

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

interna del reactor y los difusores y un metro de distancia (hasta el largo de los tabiques) entre la pared externa de los reactores para evitar que entre oxígeno a las etapas anóxicas

Por lo cual, la superficie de aireación de cada reactor es:

A1.14 Superficie aireada de los reactores aerobios

Reactor aerobio	1	2	3
Ancho (m)	3	4	4,9
Largo(m)	4,9	4,9	4,9
Superficie(m ²)	14,7	19,6	24,01
Superficie dos líneas	29,4	39,2	48,02

Para determinar el número de difusores necesarios para cada reactor se usa la ecuación A1.39:

$$n^{\circ} = \text{superficie} \times \text{densidad de difusores (A1.39)}$$

3. Se supone un valor de $SOTE_{cw}$ teniendo en cuenta el catálogo elegido. Para la serie II Silver, la eficiencia de transferencia de oxígeno estándar (SOTE) es aproximadamente de 6,5% por m de inmersión. Como los reactores tienen una profundidad de 5 m, se considera un SOTE de 32,5%.

4. Se determina el valor de $SOTE_{pw}$ a partir de la ecuación A1.40:

$$SOTE_{PW} = SOTE_{CW} \cdot \theta^{T-20} \cdot \alpha F \cdot \left(\frac{\beta \cdot \tau \cdot \Omega \cdot C_{\infty,20} - C}{C_{\infty,20}} \right) \quad (A1.40)$$

Donde:

- $SOTE_{PW}$: Es la eficacia de transferencia de oxígeno estándar del agua residual.
- $SOTE_{CW}$: Es la eficacia de transferencia de oxígeno estándar del agua limpia.
- αF es el factor Alpha y de ensuciamiento.
- τ es el factor de corrección de la variación de la concentración de saturación de oxígeno en el agua con la temperatura estudiada.
- β factor de corrección de la concentración de saturación de oxígeno con la salinidad.

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

- Ω : Factor altitud del terreno. Toma el valor de 1 ya que el terreno se encuentra al nivel del mar.
 - $C_{\infty,20}$: Concentración de saturación de oxígeno disuelto en el agua potable a 20 °C (g/m³).
 - C: Concentración de oxígeno disuelto en el medio acuoso. (mg/l).
 -
5. Se determina el caudal de aire a partir de la ecuación A1.41:

$$Q_{\text{aire}} = \frac{R_0}{0,277 \cdot \text{SOTE}_{pw}} \quad (\text{A1.41})$$

6. Se determina el caudal de aire por difusor Q_{aire}/n° .
7. Se determina el SOTE_{cw} a partir de la figura A1.2 y conociendo Q_{aire}/n° .

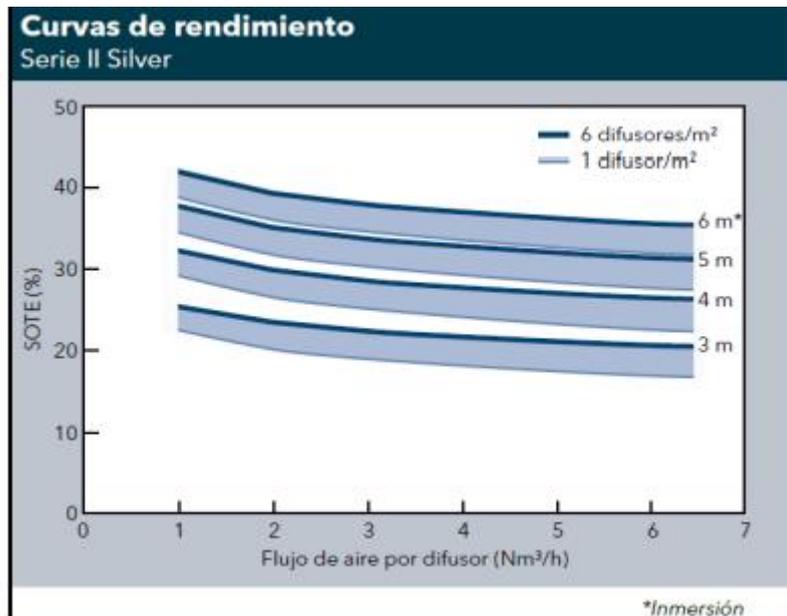


Figura A1.2 Curvas de rendimiento Serie II Silver

8. Se determina el valor de SOTE_{pw} a partir de la ecuación A1.40.
9. Se determina Q_{aire} a partir de la ecuación A1.41.
10. Se determina Q_{aire}/n° de difusores.
11. Se obtiene SOTE_{cw} conociendo Q_{aire}/n° a partir de la figura A1.2.
12. Se determina el valor de SOTE_{pw} a partir de la ecuación A1.40
13. Se determina Q_{aire} a partir de la ecuación A1.41

2.1 DATOS PREVIOS

A continuación, se muestra una tabla con los valores de los parámetros necesarios para determinar la demanda de oxígeno, el flujo de aire y el número de difusores:

A1.15 Parámetros necesarios para determinar la demanda de oxígeno

Temperatura	15
αF	0,6
T	0,909
B	0,908
W	1
$C_{\infty,15}(\text{g/m}^3)$	11,82
$C_{\infty,20}(\text{g/m}^3)$	10,66
C (g/m³)	2

2.2 DEMANDA DE OXÍGENO, FLUJO DE AIRE Y NÚMERO DE DIFUSORES A 15°C

2.2.1 Reactor aerobio 1

Al primer reactor, la bDQO que entra será:

$$bDQO_{1era\ etapa} = \frac{bDQO \cdot f_1}{(RAS + f_1)} = \frac{250 \cdot 0,5}{0,6 + 0,5} = 113,64 \text{ g/m}^3$$

El nitrato producido en el reactor aerobio de la primera etapa se ha calculado en el apartado 1.2.5.1 y es:

$$NO_3\text{-N producido} = 10,80 \text{ g/m}^3$$

La demanda de oxígeno en el reactor 1 se calcula a partir de la ecuación A.135:

$$R_0 = 6600 \cdot 113,63 - 1,42 \cdot \left(\frac{6600 \cdot 0,45 \cdot 113,63}{1 + 0,099 \cdot 5,63} + \frac{0,15 \cdot 0,099 \cdot 6600 \cdot 0,45 \cdot 113,63 \cdot 5,63}{(1 + 0,099 \cdot 5,63)} \right) + 4,57 \cdot 6600 \cdot 10,80 = 742267,98 \text{ g/d} = 30,92 \text{ kg/h}$$

Los resultados que se obtienen para la primera etapa a 15°C se reflejan en las tablas A1.16 y A1.17:

Tabla A1. 16. Cálculo del número de difusores a 15°C para la 1ª etapa parte 1

$\frac{N^\circ dif}{m^2}$	nº dif.	$\frac{Q_{aire}}{difusor}$	SOTE _{cw}	SOTE _{pw}	Q _{aire} (m ³ /h)
4	118	6,01	0,31	0,150	743,34
5	147	4,82	0,32	0,155	720,11
6	176	4,03	0,33	0,160	698,29

Tabla A1. 17. Cálculo del número de difusores a 15°C para la 1ª etapa parte 2

Q _{aire} (m ³ /h)	$\frac{Q_{aire}}{difusor}$	SOTE _{cw}	SOTE _{pw}	Q _{aire} (m ³ /h)	$\frac{Q_{aire}}{difusor}$
743,34	6,30	0,31	0,118	942,29	7,99
720,11	4,90	0,32	0,122	912,84	6,21
698,29	3,97	0,34	0,130	859,15	4,88

2.2.2 Reactor aerobio 2

Al segundo reactor, la bDQO que entra será:

$$bDQO_{2da\ etapa} = \frac{(f1+RAS) \cdot bDQO + f2 \cdot bDQO}{(f2+f1+RAS)} = \frac{(0,5+0,6) \cdot 0 + 0,25 \cdot 250}{0,25+0,5+0,6} = 46,30 \text{ g/m}^3$$

El nitrato producido al reactor aerobio de la segunda etapa se ha calculado en el apartado 1.2.5.2 y es:

$$NO_3-N = 9,15 \text{ g/m}^3$$

La demanda de oxígeno será:

$$R_0 = 8100 \cdot 46,30 - 1,42 \cdot \left(\frac{8100 \cdot 0,45 \cdot 46,30}{1+0,099 \cdot 5,63} + \frac{0,15 \cdot 0,099 \cdot 8100 \cdot 0,45 \cdot 46,30 \cdot 5,63}{(1+0,099 \cdot 5,63)} \right) + 4,57 \cdot 8100 \cdot 9,15 = 546993,07 \text{ g/d} = 22,79 \text{ kg/h}$$

Los resultados que se obtienen para la segunda etapa a 15°C se reflejan en las tablas A1.18 y A1.19:

Tabla A1.18 Cálculo de número de difusores a 15°C para la 2ª etapa parte 1

$\frac{N^\circ dif}{m^2}$	nº dif.	$\frac{Q_{aire}}{difusor}$	SOTE _{cw}	SOTE _{pw}	Q _{aire} (m³/h)
4	157	4,22	0,32	0,155	647,67
5	196	3,38	0,33	0,16	628,05
6	236	2,82	0,35	0,17	592,16

Tabla A1.19 Cálculo de número de difusores a 15°C para la 2ª etapa parte 2

Q _{aire} (m³/h)	$\frac{Q_{aire}}{difusor}$	SOTE _{cw}	SOTE _{pw}	Q _{aire} (m³/h)	$\frac{Q_{aire}}{difusor}$
647,67	4,13	0,32	0,122	672,82	4,29
628,05	3,20	0,33	0,126	652,44	3,33
592,16	2,52	0,35	0,134	615,15	2,62

2.2.3 Reactor aerobio 3

Al tercer reactor, la bDQO que entra será:

$$bDQO_{2da\ etapa} = \frac{(f_2+f_1+RAS) \cdot DQO + f_3 \cdot dDQO}{f_3+f_2+f_1+RAS} = \frac{(0,25+0,5+0,6) \cdot 0 + 0,25 \cdot 250}{0,25+0,25+0,5+0,6} = 39,06 \text{ g/m}^3$$

El nitrato producido en el reactor aerobio de la segunda etapa se ha calculado en el apartado 1.2.5.3 y es:

$$NO_3-N = 7,56 \text{ g/m}^3$$

La demanda de oxígeno será:

$$R_0 = 9600 \cdot 39,06 - 1,42 \cdot \left(\frac{9600 \cdot 0,45 \cdot 39,06}{1+0,099 \cdot 5,63} + \frac{0,15 \cdot 0,099 \cdot 9600 \cdot 0,45 \cdot 39,06 \cdot 5,63}{(1+0,099 \cdot 5,63)} \right) +$$

$$4,57 \cdot 9600 \cdot 7,56 = 539929,84 \text{ g/d} = 22,49 \text{ kg/h}$$

Los resultados que se obtienen para la tercera etapa a 15°C se reflejan en las tablas A1.20 y A1.21:

Tabla A1. 20. Cálculo de número de difusores a 15°C para la 3ª etapa parte 1

$\frac{N^{\circ} dif}{m^2}$	nº dif.	$\frac{Q_{aire}}{difusor}$	SOTE _{CW}	SOTE _{PW}	Q _{aire} (m³/h)
4	192	3,40	0,33	0,160	619,78
5	240	2,72	0,34	0,165	601,55
6	288	2,27	0,35	0,170	584,36

Tabla A1. 21. Cálculo de número de difusores a 15°C para la 3ª etapa parte 2

Q _{aire} (m³/h)	$\frac{Q_{aire}}{difusor}$	SOTE _{cw}	SOTE _{PW}	Q _{aire} (m³/h)	$\frac{Q_{aire}}{difusor}$
619,78	3,28	0,32	0,122	663,97	3,46
601,55	2,51	0,34	0,130	624,91	2,60
584,36	2,03	0,36	0,138	590,19	2,05

2.3 DEMANDA DE OXÍGENO, FLUJO DE AIRE Y NÚMERO DE DIFUSORES A 20°C

2.3.1 Reactor aerobio 1

El nitrato producido en el reactor aerobio de la primera etapa se puede encontrar en la tabla A1.12 y es:

$$\text{NO}_3\text{-N producido} = 14,12 \text{ g/m}^3$$

La demanda de oxígeno será:

$$R_0 = 6600 \cdot 113,63 \cdot 1,42 \cdot \left(\frac{6600 \cdot 0,45 \cdot 113,63}{1 + 0,12 \cdot 5,96} + \frac{0,15 \cdot 0,12 \cdot 6600 \cdot 0,45 \cdot 113,63 \cdot 5,96}{(1 + 0,12 \cdot 5,96)} \right) + 4,57 \cdot 6600 \cdot 14,12 = 866473,80 \text{ g/d} = 36,10 \text{ kg/h}$$

Los resultados que se obtienen para la primera etapa a 15°C se reflejan en las tablas A1.22 y A1.23:

Tabla A1.22. Cálculo de número de difusores a 20°C para la 3ª etapa parte 1

$\frac{N^\circ dif}{m^2}$	nº dif.	$\frac{Q_{aire}}{difusor}$	SOTECW	SOTE _{PW}
4	118	8,13	-	-
5	147	6,51	-	-
6	177	5,42	0,33	0,138

Tabla A1.23. Cálculo de número de difusores a 20° C para la 1ª etapa parte 2

Q _{aire} (m ³ /h)	$\frac{Q_{aire}}{difusor}$	SOTECw	SOTE _{PW}	Q _{aire} (m ³ /h)	$\frac{Q_{aire}}{difusor}$
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
806,92	4,57	0,33	0,138	942,10	5,34

2.3.2 Reactor aerobio 2

El nitrato producido en el reactor aerobio de la segunda etapa se puede encontrar en la tabla A1.12 y es:

$$\text{NO}_3\text{-N} = 10,04 \text{ g/m}^3$$

La demanda de oxígeno será:

$$R_0 = 8100 \cdot 46,30 \cdot -1,42 \cdot \left(\frac{8100 \cdot 0,45 \cdot 46,30}{1 + 0,12 \cdot 5,96} + \frac{0,15 \cdot 0,12 \cdot 8100 \cdot 0,45 \cdot 46,30 \cdot 5,96}{(1 + 0,12 \cdot 5,96)} \right) + 4,57 \cdot 8100 \cdot 10,042 = 592053,74 \text{ g/d} = 24,67 \text{ kg/h}$$

Los resultados que se obtienen para la segunda etapa a 20°C se reflejan en las tablas A1.24 y A1.25:

Tabla A1. 24. Cálculo de número de difusores a 20°C para la 2ª etapa parte 1

$\frac{N^{\circ} dif}{m^2}$	n° dif.	$\frac{Q_{aire}}{difusor}$	SOTE _{CW}	SOTE _{PW}	Q _{aire} (m ³ /h)
4	157	4,17	0,33	0,138	785,62
5	196	3,34	0,33	0,138	785,62
6	236	2,78	0,35	0,147	740,73

Tabla A1. 25. Cálculo de número de difusores 20°C para la 2ª etapa parte 2

Q _{aire} (m ³ /h)	$\frac{Q_{aire}}{difusor}$	SOTE _{CW}	SOTE _{PW}	Q _{aire} (m ³ /h)	$\frac{Q_{aire}}{difusor}$
785,62	5,01	0,32	0,134	663,93	4,23
785,62	4,01	0,33	0,138	643,81	3,29
740,73	3,15	0,35	0,147	607,02	2,58

2.3.3 Reactor aerobio 3

El nitrato producido en el reactor aerobio de la segunda etapa se puede encontrar en la tabla A1.12 y es:

$$\text{NO}_3\text{-N} = 6,87 \text{ g/m}^3$$

La demanda de oxígeno será:

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

$$R_0 = 9600 \cdot 39,06 - 1,42 \cdot \left(\frac{9600 \cdot 0,45 \cdot 39,06}{1 + 0,12 \cdot 5,96} + \frac{0,15 \cdot 0,12 \cdot 9600 \cdot 0,45 \cdot 39,06 \cdot 5,96}{(1 + 0,12 \cdot 5,96)} \right) + 4,57 \cdot 9600 \cdot 6,87 = 521692,06 \text{ g/d} = 21,73 \text{ kg/h}$$

Los resultados que se obtienen para la tercera etapa a 20°C se reflejan en las tablas A1.26 y A1.27:

Tabla A1. 26. Cálculo de número de difusores a 20°C para la 3ª etapa parte 1

$\frac{N^{\circ} dif}{m^2}$	n° dif.	$\frac{Q_{aire}}{difusor}$	SOTE _{CW}	SOTE _{PW}	Q _{aire} (m ³ /s)
4	178	3,00	0,34	0,143	671,61
5	236	2,40	0,35	0,147	652,42
6	288	2,00	0,36	0,151	634,30

Tabla A1. 27. Cálculo de número de difusores a 20°C para la 3ª etapa parte 2

Q _{aire} (m ³ /h)	$\frac{Q_{aire}}{difusor}$	SOTE _{CW}	SOTE _{PW}	Q _{aire} (m ³ /h)	$\frac{Q_{aire}}{difusor}$
671,61	3,50	0,32	0,134	584,78	3,05
652,42	2,72	0,35	0,147	534,66	2,23
634,30	2,20	0,36	0,151	519,81	1,81

2.4 RESULTADOS FINALES

Se diseñarán los difusores para la temperatura de 20° ya que para dicha temperatura la demanda de oxígeno es mayor, y se elegirá además una densidad de 6 difusores/m². En la tabla A1.28 se muestra un resumen de los resultados elegidos:

Tabla A1. 28 n° de difusores, Q_{aire}, Q_{aire}/difusor, SOTE_{CW}, SOTE_{PW} elegidos

Etapa	N° de difusores	SOTE _{CW} (%)	SOTE _{PW} (%)	Q _{aire} (m ³ /h)	Q _{aire} /difusor
1	177	33	13,8	942,10	5,34
2	236	35	14,7	607,02	2,58
3	288	36	15,1	519,81	1,81

3. DISEÑO DE CONDUCCIONES

Para diseñar las tuberías de conducción del agua residual, se ha elegido como mejor alternativa las tuberías de PVC-TOM, de acuerdo con la norma UNE-EN 17176-2019.

En el diseño, se usa dos redes de conducciones: una que conduce el caudal de recirculación de fangos desde la arqueta de recirculación fangos, hasta las arquetas de entrada a la etapa 1, y la otra red de tuberías, que conduce el agua residual desde la salida del decantador primario hasta cada una de las arquetas de cada etapa.

3.1 CONDUCCIONES DE FANGOS DE RECIRCULACIÓN

La tubería de fangos de recirculación, conduce el agua desde el fondo de la arqueta de fangos hasta las dos arquetas de entrada de agua a la etapa 1. En la figura A1.3 se muestran los diferentes tramos de las conducciones de fangos:

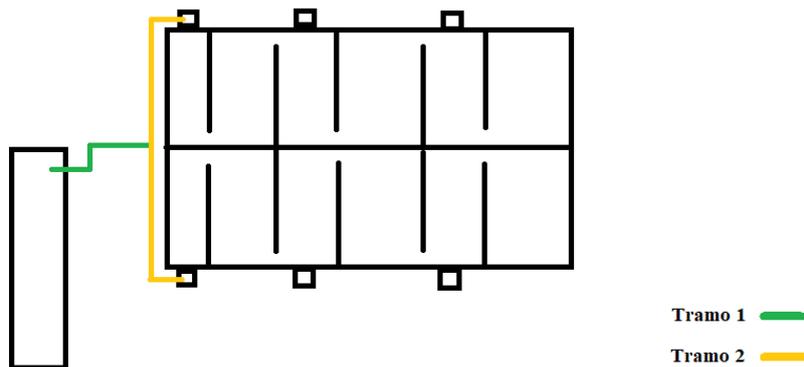


Figura A1.3 Conducciones de fangos de recirculación

A continuación se explican los diferentes tramos que aparecen en la figura A1.3:

- Tramo 1: Conduce el caudal total de recirculación desde la arqueta de fangos hasta el punto de bifurcación donde se reparte el caudal que circula entre las dos líneas de tratamiento.
- Tramo 2: Conduce la mitad del caudal total desde el punto de bifurcación hasta la arqueta de entrada a la primera etapa del tratamiento biológico.

El tramo 2 se encuentra presente tanto en la línea 1 como en la línea 2 de tratamiento biológico.

En la figura A1.4 se muestra la diferencia de altura entre los puntos de entrada y salida del caudal de recirculación:

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

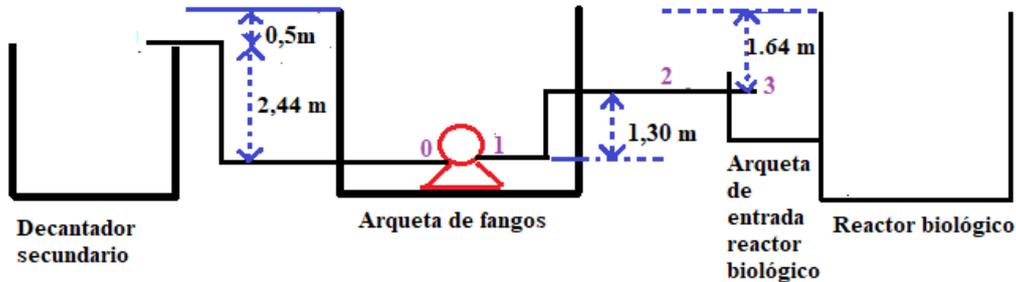


Figura A1.4 Diferencia de altura entre el punto de entrada y el de salida del caudal de recirculación

A continuación se explica las diferentes puntos que aparecen en la figura A1.4:

- El punto 0 es el punto de entrada del caudal a la bomba y se encuentra a una profundidad de 2,94 m respecto a la superficie de la arqueta de fangos y el reactor biológico y a 2,44 m respecto a la superficie del decantador secundario.
- El punto 1 es el punto de salida del caudal de la bomba.
- El punto 2 es el punto donde se bifurca el caudal entre las dos líneas de tratamiento.
- El punto 3 es el punto de salida del agua hacia las arquetas del reactor biológico, y se encuentra a una profundidad respecto a la superficie del reactor biológico de 1,64 m.
- La diferencia de altura entre el punto 1 y el punto 2 es 1,30 m.

El caudal de circulación de fangos en cada tramo y el diametro se muestran en la tabla A1.29:

Tabla A1. 29. Caudal, Diametro externo e interno de las conducciones de fango

	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3
Q (m ³ /s)	0,0416	0,02083	
D _{externo} (mm)	200		
D _{interno} (mm)	190,1		
PN (bares)	12,5		

A continuación, se calcula la velocidad y la pérdida de energía mecánica para cada tramo:

3.1.1 Tramo 1

Este tramo conduce el agua desde la salida del agua de la bomba hasta la bifurcación que reparte el caudal entre las dos líneas de tratamiento.

La velocidad de circulación de los fangos en este tramo se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$v = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2} \quad (A1.42)$$

Despejando se obtiene:

$$v = \frac{4 \cdot 0,04166}{\pi \cdot 0,1901^2} = 1,47 \text{ m/s}$$

Para obtener la pérdida de energía mecánica se necesita conocer el valor de Reynolds y la rugosidad relativa para obtener el coeficiente de frotamiento f a partir de la gráfica de Moody:

El valor de Reynolds se obtiene a partir de la ecuación A1.43:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} \quad (A1.43)$$

Sustituyendo los valores conocidos en la ecuación A1.43 se obtiene el valor de Re:

$$Re = \frac{1000 \cdot 1,47 \cdot 0,1901}{0,001} = 279447$$

La rugosidad relativa se obtiene a partir de la ecuación A1.44:

$$\epsilon_{relativa} = \epsilon_{absoluta} / D \quad (A1.44)$$

El valor de $\epsilon_{absoluta}$ del PVC es 0,0015m

La rugosidad relativa es:

$$\epsilon_{relativa} = 0,0015 / 0,1901 = 0,0079$$

A partir de la gráfica de Moody (figura A1.5) se obtiene el valor del coeficiente de frotamiento:

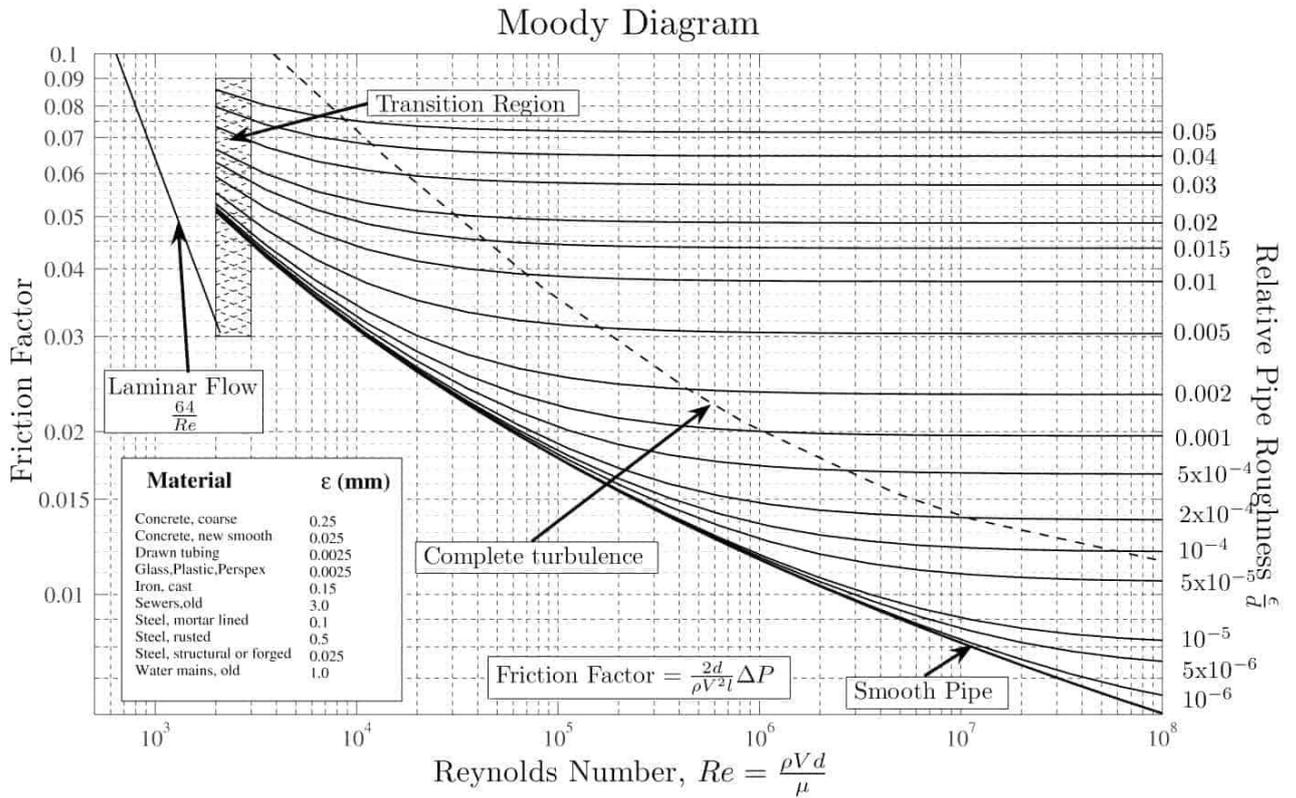


Figura A1.5 Gráfica de Moody. Factor de Fricción 4f

De la gráfica de Moody se obtiene:

$$4f = 0,035 \quad f = 0,00875$$

La longitud de los tramos rectos es:

$$L = 3,68 \text{ m}$$

La pérdida de energía mecánica debida a los tramos rectos se obtiene a partir de la ecuación A1.45:

$$\Delta F_R = 2 \cdot f \cdot v^2 \frac{L}{D} \quad (A1.45)$$

Despejando se obtiene:

$$\Delta F_R = 2 \cdot 0,00875 \cdot 1,47^2 \frac{3,68}{0,1901} = 0,73 \text{ J/kg}$$

En la tabla A1.30 se muestran los accidentes presentes en este tramo de tubería:

Tabla A1.30 Accidentes tramo 1 de conducciones de fangos de recirculación

Accidentes	K
Entrada en cantos vivos	0,50
Ensanchamiento de tubería 150/200	$(1 - \frac{0,1401^2}{0,1901^2})^2 = 0,21$
Codo 90° standart	0,75
T standart como división de caudal	1,0

La pérdida de energía mecánica debida a los accidentes se obtiene a partir de la ecuación A1.46

$$\Delta F_A = k \cdot \frac{v^2}{2} \quad (A1.46)$$

La pérdida de energía mecánica debida a los accidentes es:

$$\Delta F_A = (0,50 + 0,21 + 0,75 + 0,75 + 0,75 + 0,75 + 1,0) \cdot 1,47^2 / 2 = 5,09 \text{ J/kg}$$

La pérdida de energía mecánica total en el tramo 1 es:

$$\Delta F_T = \Delta F_R + \Delta F_A = 0,73 + 5,09 = 5,82 \text{ J/kg}$$

3.1.2 Tramo 2

Los tramos 2 y 3 son identicos, por lo que es suficiente con determinar la pérdida de energía mecánica y realizar el balance de energía mecánica en el tramo 2.

La velocidad de circulación de los fangos en este tramo se obtiene a partir de la ecuación A.42:

$$v = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 0,02083}{\pi \cdot 0,1901^2} = 0,73 \text{ m/s}$$

A partir de la ecuación A1.43 se obtiene el valor de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} = \frac{1000 \cdot 0,73 \cdot 0,1901}{0,001} = 138773$$

La rugosidad relativa es:

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

$$\varepsilon_{\text{relativa}} = 0,0015 / 0,1901 = 0,0079$$

A partir de la gráfica de Moody se obtiene:

$$4f = 0,0355 \quad f = 0,008875$$

La longitud de los tramos rectos es:

$$L = 6,55 \text{ m}$$

La pérdida de energía mecánica debida a los tramos rectos se obtiene a partir de la ecuación A1.45

$$\Delta F_R = 2 \cdot f \cdot v^2 \frac{L}{D} = 2 \cdot 0,008875 \cdot 0,73^2 \frac{6,55}{0,1901} = 0,33 \text{ J/kg}$$

En la tabla A1.31 se muestran los accidentes presentes en este tramo de tubería:

Tabla A1.31. Accidentes tramo 2 de conducciones de fango de recirculación

Accidentes	K
Valvula de diafragma ½ abierta	36
Codo 90° standart	0,75
Salida encañonada	1

La pérdida de energía mecánica debida a los accidentes se obtiene a partir de la ecuación A1.46:

$$\Delta F_A = k \cdot \frac{v^2}{2} = (36 + 0,75 + 1) \cdot 0,73^2 / 2 = 10,06 \text{ J/kg}$$

La pérdida de energía mecánica total en el tramo 2 es:

$$\Delta F_T = \Delta F_R + \Delta F_A = 0,33 + 10,06 = 10,39 \text{ J/kg}$$

En la tabla A1.32 se muestra una tabla con la pérdida de energía mecánica en cada tramo:

Tabla A1.32 Pérdida de energía total en conducciones de fango de recirculación

Tramo	ΔF _T (J/kg)
1	5,82
2	10,39

3.1.3 Balance de energía mecánica en conducciones de fango de recirculación

En este apartado se determina la carga del sistema y la potencia de la bomba necesaria para poder impulsar el caudal de fangos de recirculación, para ello se realizan tres balances de energía, que son los siguientes:

- El primer balance de energía mecánica se realiza entre el punto de entrada del caudal de recirculación a las arquetas del reactor biológico, y el punto de bifurcación, donde se reparte el caudal entre las dos líneas de tratamiento. Con este balance se obtiene la presión en el punto de la bifurcación.
- El segundo balance de energía mecánica se realiza entre la bifurcación y el punto de salida del caudal de recirculación de fangos de la bomba. Con este balance se obtiene la presión a la salida de la bomba.
- El tercer balance se realiza entre el punto de entrada y el punto de salida del caudal de recirculación de la bomba. Con este balance se consigue obtener la carga del sistema y con ello, se obtiene la potencia de la bomba.

A continuación, se detallan los cálculos de los balances:

3.1.3.1 BEM 1 para las conducciones de fango recirculación

El balance de energía mecánica 1, queda expresado de la siguiente manera:

$$(z_3 - z_2) + \left(\frac{v_3^2}{2 \cdot \alpha_2^2} - \frac{v_2^2}{2 \cdot \alpha_1^2} \right) + \frac{p_3 - p_2}{\rho} + \Delta F = 0$$

Donde:

- La diferencia de altura entre el punto de entrada del caudal a las arquetas del reactor biológico y el punto de bifurcación es igual a 0.

$$z_3 - z_2 = 0 \text{ m}$$

- v_3 es la velocidad de circulación del agua residual en el punto de entrada a las arquetas del reactor biológico. Este valor es despreciable.
- v_2 es la velocidad de circulación del agua residual después de la bifurcación y es igual a la velocidad a la cual circula el caudal en el tramo 2:

$$v_2 = 0,73 \text{ m/s}$$

- p_3 es la presión en el punto de entrada del caudal de recirculación a las arquetas del reactor biológico. Esta presión se determina teniendo en cuenta la diferencia de altura entre la superficie de agua del reactor biológico y el punto de entrada del caudal de recirculación a las arquetas y es 1,64 m. La presión 3 queda de la siguiente manera:

$$p_3 = p_{\text{atm}} + p_{\text{manométrica}} = p_{\text{atm}} + \rho_{\text{agua}} \cdot h \cdot g = 101325 + 1000 \cdot 1,64 \cdot 9,81 = 117413,40 \text{ Pa}$$

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

- p_2 es la presión en el punto de bifurcación. Este valor es el que se determina en este balance de energía mecánica.
- ΔF es la pérdida de energía mecánica que se produce desde la bifurcación hasta el punto de salida del caudal de recirculación hacia la arqueta del reactor biológico, y es igual a la pérdida de energía mecánica en el tramo 2:

$$\Delta F = \Delta F_{\text{TRAMO 2}} = 10,39 \text{ J/kg}$$

- ρ es la densidad del agua y es igual a 1000 kg/m^3 .
- $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$ en régimen turbulento

Sustituyendo estos valores en el balance 1, se obtiene:

$$\frac{0,73^2}{2 \cdot 1^2} + \frac{117413,40 - p_2}{1000} + 10,39 = 0$$

Despejando, se obtiene el valor de p_2 :

$$p_2 = 127536,95 \text{ Pa}$$

3.1.3.2 BEM 2 para las conducciones de fango de recirculación

El balance de energía mecánica 2, queda expresado de la siguiente manera:

$$g \cdot (z_2 - z_1) + \left(\frac{v_2^2}{2 \cdot \alpha_2^2} - \frac{v_1^2}{2 \cdot \alpha_1^2} \right) + \frac{p_2 - p_1}{\rho} + \Delta F = 0$$

Siendo:

- La diferencia de altura entre la bifurcación y el punto de salida del caudal de la bomba igual a:

$$z_2 - z_1 = 1,30 \text{ m}$$

- v_2 es la velocidad a la que circula el caudal antes del punto de bifurcación, y es igual a la velocidad a la que circula el caudal en el tramo 1:

$$v_2 = 1,47 \text{ m/s}$$

- v_1 es la velocidad del caudal de recirculación en el punto de salida de la bomba. En este punto, la velocidad es diferente a la del tramo 1, ya que se encuentra antes del ensanchamiento de la tubería. Este tramo tiene un diámetro interno de $0,1401 \text{ m}$, por lo cual la velocidad será igual a:

$$v_1 = \frac{4 \cdot 0,0416}{\pi \cdot 0,1401^2} = 2,70 \text{ m/s}$$

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

- p_2 es la presión en la bifurcación y es la que se ha calculado en el balance de energía mecánica anterior.

$$p_2 = 127536,95 \text{ Pa}$$

- p_1 es la presión en el punto de salida de la bomba, y se obtiene a partir de este balance de energía mecánica.
- ΔF es la pérdida de energía mecánica que se produce en el tramo 1 y es igual a:

$$\Delta F_{\text{TRAMO 1}} = 5,82 \text{ J/kg}$$

Sustituyendo estos valores en el balance 2, se obtiene:

$$9,81 \cdot (1,30) + \left(\frac{1,47^2}{2 \cdot 1^2} - \frac{2,70^2}{2 \cdot 1^2} \right) + \frac{127536,95 - p_1}{1000} + 5,82 = 0$$

Despejando se obtiene p_1 :

$$p_1 = 143545,40 \text{ Pa}$$

3.1.3.3 BEM 3 para las conducciones de fango de recirculación

El balance de energía mecánica 3, queda expresado de la siguiente manera:

$$h_s = (z_1 - z_0) + \left(\frac{v_1^2}{2 \cdot g \cdot \alpha_2^2} - \frac{v_0^2}{2 \cdot g \cdot \alpha_1^2} \right) + \frac{p_1 - p_0}{\rho \cdot g} + \frac{\Delta F}{g}$$

Siendo:

- La diferencia de altura entre el punto de entrada y el de salida del caudal de recirculación de la bomba es igual a 0.

$$(z_1 - z_0) = 0 \text{ m}$$

- v_0 es la velocidad del caudal de recirculación en el punto de entrada a la bomba y es despreciable.
- v_1 es la velocidad del caudal de recirculación en el punto de salida de la bomba y es igual a 2,70 m/s.

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

- p_1 es la presión en el punto de salida de la bomba que se ha determinado en el balance anterior y es igual a:

$$p_1 = 143545,40 \text{ Pa}$$

- p_0 es la presión en el punto de entrada a la bomba y se calcula teniendo en cuenta la diferencia de altura entre la superficie del agua del decantador secundario y el punto de entrada del caudal a la bomba, y está altura es de 2,44 m, por lo tanto la p_0 queda de la siguiente manera:

$$p_0 = p_{\text{atm}} + p_{\text{manométrica}} = 101325 + 1000 \cdot 2,44 \cdot 9,81 = 125261,40 \text{ Pa}$$

- ΔF es igual a 0 ya que no existe tramos rectos ni accidentes entre los puntos de entrada y el de salida del caudal de fango de recirculación de la bomba.
- h_s es la carga del sistema y se obtiene a partir de este balance de energía mecánica.

Sustituyendo estos valores en el balance 3, se obtiene:

$$h_s = \frac{2,70^2}{2 \cdot 1^2} + \frac{143545,40 - 125261,40}{1000 \cdot 9,81}$$

La carga del sistema que se obtiene es:

$$h_s = 5,51 \text{ m}$$

La potencia de la bomba que hay que suministrar es:

$$P = \frac{h \cdot g \cdot Q \cdot \rho}{\eta} = \frac{5,51 \cdot 9,81 \cdot 0,0416 \cdot 1000}{0,63} = 3569,22 \text{ W}$$

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

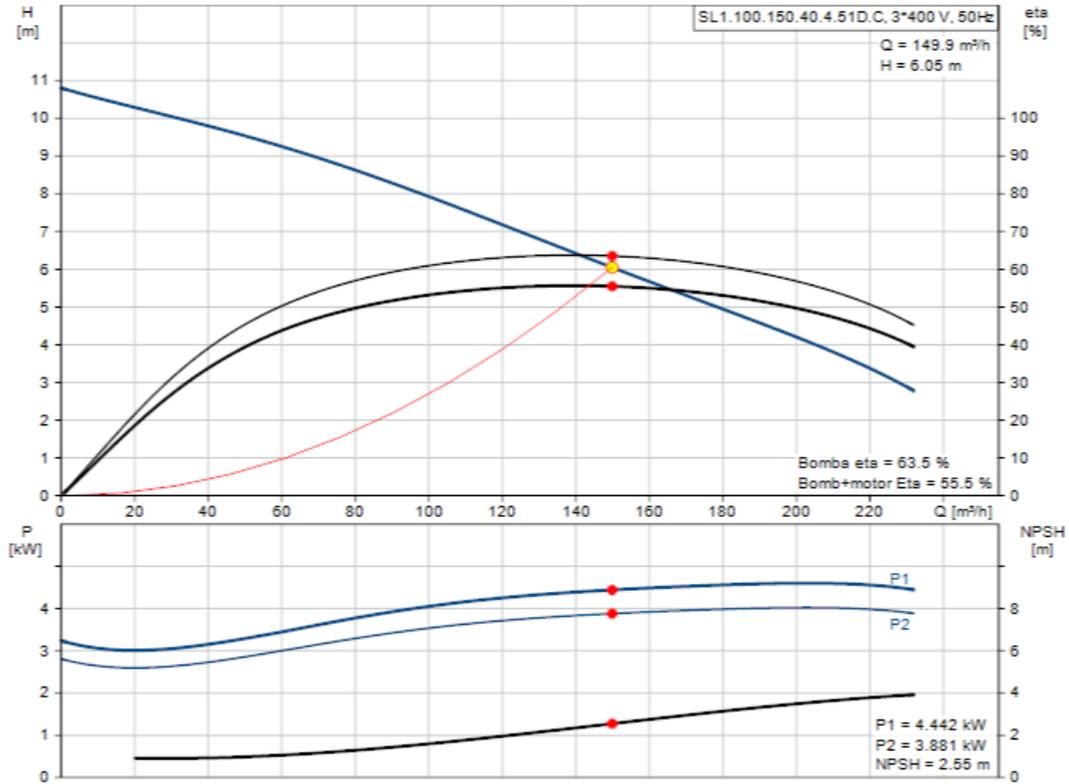


Figura A1.6 Rendimiento de la bomba de impulsión de fango de recirculación

Se observa que para el caudal que circula por las conducciones de fangos, la bomba es capaz de suministrar 6,05 m de carga y 4,44 kW de potencia, valores suficientes para impulsar el caudal de fangos de recirculación.

3.2 CONDUCCIONES DE AGUA RESIDUAL

Este conjunto de conducciones transporta el agua residual desde la arqueta de salida del agua del decantador primario hasta cada una de las arquetas de entrada al tratamiento biológico. En la figura A1.7, se muestran los diferentes tramos de conducción de agua residual:

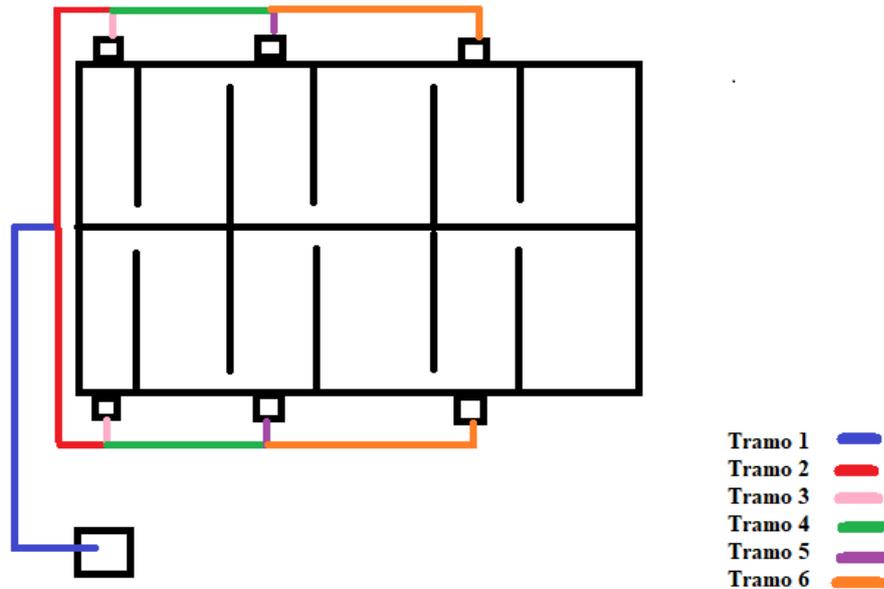


Figura A1.7 Conducciones de agua residual

A continuación, se definen los tramos reflejados en la figura A1.7:

- Tramo 1. Transporta el agua desde la arqueta de salida del agua residual del decantador primario, hasta la bifurcación donde se reparte el caudal de agua residual entre las dos líneas de tratamiento.
- Tramo 2. Transporta el agua desde la bifurcación del tramo 1 hasta la bifurcación donde se separa el caudal que entra a la primera etapa del resto.
- Tramo 3. Transporta el agua desde la bifurcación del tramo 2 hasta la arqueta de entrada a la etapa 1.
- Tramo 4. Transporta el agua desde la bifurcación del tramo 2 hasta la bifurcación donde se separan los caudales que entran a la etapa 2 y 3.
- Tramo 5. Transporta el caudal que entra a la etapa 2, desde la bifurcación del tramo 4 hasta la arqueta de entrada a la etapa 2.
- Tramo 6: Transporta el caudal de entrada a la etapa 3 desde la bifurcación del tramo 4 hasta la arqueta de entrada a la etapa 3.

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

Los tramos 2, 3, 4, 5 y 6 se encuentran presentes tanto en la línea 1 como en la línea dos del tratamiento biológico.

En la figura A1.8 se muestra la diferencia de altura entre los puntos de entrada y salida del agua residual:

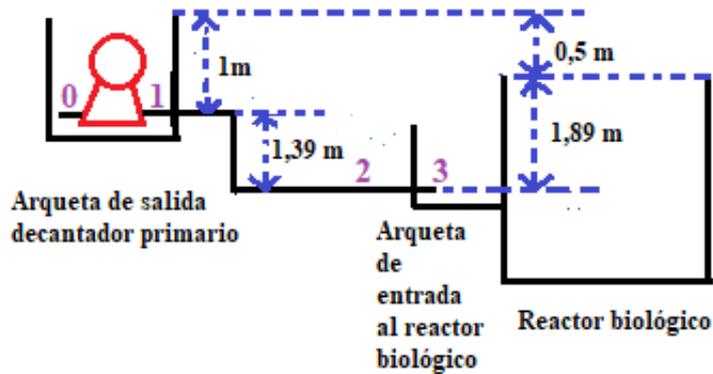


Figura A1.8 Diferencia de altura entre el punto de salida y el de entrada del caudal de agua residual

A continuación se explica las diferentes puntos que aparecen en la figura A1.8

- El punto 0 es el punto de entrada del caudal a la bomba y se encuentra a una profundidad de 1 m respecto a la superficie del decantador primario.
- El punto 1 es el punto de salida del caudal de la bomba.
- El punto 2 es el punto donde se bifurca el caudal entre las dos líneas de tratamiento. Este punto pertenece al tramo 1.
- El punto 3 es el punto de entrada del caudal a las arquetas del reactor biológico, y se encuentra a una profundidad respecto a la superficie del reactor biológico de 1,89 m.
- La diferencia de altura entre el punto de salida del caudal de la bomba y el punto de entrada del caudal a las arquetas del reactor biológico es de 1,39 m.

El caudal de circulación de agua que circula por cada tramo y el diámetro se muestran en la tabla A1.33:

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

Tabla A1.33. Caudal y diámetro de cada uno de los tramos que forman las conducciones de agua residual

	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4	Tramo 5	Tramo 6
Q(m³/d)	6000	3000	1500	1500	750	750
Q (m³/s)	0,069	0,0347	0,0174	0,0174	0,0087	0,087
D_{externo} (mm)	250	200	160	160	110	110
D_{interno} (mm)	237,6	190,1	152,1	152,1	103,6	103,6
PN	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5

3.2.1 Tramo 1

El tramo 1 va desde la arqueta de salida del agua residual del decantador primario hasta la bifurcación donde se reparte el caudal entre las dos líneas de tratamiento.

La velocidad de circulación del agua residual en este tramo se obtiene a partir de la ecuación A1.42:

$$v = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 0,069}{\pi \cdot 0,2376^2} = 1,57 \text{ m/s}$$

A partir de la ecuación A1.43 se obtiene el valor de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} = \frac{1000 \cdot 1,57 \cdot 0,2376}{0,001} = 37303,2$$

La rugosidad relativa es:

$$\epsilon_{\text{relativa}} = 0,0015 / 0,2376 = 0,0063$$

A partir de la gráfica de Moody se obtiene:

$$4f = 0,035 \quad f = 0,00875$$

La longitud de los tramos rectos es:

$$L = 19,72 \text{ m}$$

La pérdida de energía mecánica debida a los tramos rectos se obtiene a partir de la ecuación A1.45:

$$\Delta F_R = 2 \cdot f \cdot v^2 \cdot \frac{L}{D} = 2 \cdot 0,00875 \cdot 1,57^2 \cdot \frac{19,72}{0,2376} = 3,58 \text{ J/kg}$$

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

En la tabla A1.34 se muestran los accidentes presentes en este tramo de tubería:

Tabla A1.34. Accidentes en el tramo 1 de las conducciones de agua residual

Accidentes	K
Entrada cantos vivos	0,5
Ensanchamiento	$(1 - \frac{0,1901^2}{0,2376^2})^2 = 0,129$ m
Codo 90° standart	0,75
Codo 90° standart	0,75
Codo 90° standart	0,75
T standart como división de caudal	1

La pérdida de energía mecánica debida a los accidentes se obtiene a partir de la ecuación A1.46:

$$\Delta F_A = k \cdot \frac{v^2}{2} = (0,5 + 0,129 + 0,75 + 0,75 + 0,75 + 1) \cdot 1,565^2 / 2 = 4,75 \text{ J/kg}$$

La pérdida de energía mecánica en el primer tramo es:

$$\Delta F_T = \Delta F_R + \Delta F_A = 3,58 + 4,75 = 8,10 \text{ J/kg}$$

3.2.2 Tramo 2

El tramo 2 va desde la bifurcación que separa el caudal de agua residual total entre las dos líneas de tratamiento, hasta la bifurcación donde se separa el caudal que entra a la primera etapa del resto.

La velocidad de circulación del agua residual en este tramo se obtiene a partir de la ecuación A1.42:

$$v = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 0,03472}{\pi \cdot 0,1901^2} = 1,22 \text{ m/s}$$

A partir de la ecuación A1.43 se obtiene el valor de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} = \frac{1000 \cdot 1,22 \cdot 0,1901}{0,001} = 231922$$

La rugosidad relativa es:

$$\epsilon_{\text{relativa}} = 0,0015 / 0,1901 = 0,0079$$

A partir de la gráfica de Moody se obtiene:

$$4f = 0,035 \quad f = 0,00875$$

La longitud de los tramos rectos es:

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

$$L=8,21 \text{ m}$$

La pérdida de energía mecánica debida a los tramos rectos se obtiene a partir de la ecuación A1.45:

$$\Delta F_R = 2 \cdot f \cdot v^2 \frac{L}{D} = 2 \cdot 0,00875 \cdot 1,22^2 \frac{8,21}{0,1901} = 1,13 \text{ J/kg}$$

En la tabla A1.35 se muestran los accidentes presentes en este tramo de tubería:

Tabla A1.35 Accidentes en el tramo 2 de las conducciones de agua residual

Accidentes	K
Estrechamiento	$(1 - \frac{0,1901^2}{0,2376^2})^2 = 0,129$
Válvula de asiento ½ abierta	36,0
Codo 90° standart	0,75
T standart como división de caudal	1

La pérdida de energía mecánica debida a los accidentes se obtiene a partir de la ecuación A1.46:

$$\Delta F_A = k \cdot \frac{v^2}{2} = (0,129 + 36,0 + 0,75 + 1) \cdot 1,223^2 / 2 = 28,33 \text{ J/kg}$$

La pérdida de energía mecánica en el tramo 2 es:

$$\Delta F_T = \Delta F_R + \Delta F_A = 1,13 + 28,33 = 29,46 \text{ J/kg}$$

3.2.3 Tramo 3

El tramo tres transporta el agua desde la bifurcación del tramo 2, hasta la arqueta de entrada a la etapa 1:

La velocidad de circulación del agua residual en el tramo 3 se obtiene a partir de la ecuación A1.42:

$$v = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 0,0174}{\pi \cdot 0,1521^2} = 0,96 \text{ m/s}$$

A partir de la ecuación A1.43 se obtiene el valor de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} = \frac{1000 \cdot 0,957 \cdot 0,1521}{0,001} = 145559,7$$

La rugosidad relativa es:

$$\epsilon_{\text{relativa}} = 0,0015 / 0,1521 = 0,0098$$

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

A partir de la gráfica de Moody se obtiene:

$$4f= 0,038 \quad f=0,0095$$

La longitud de los tramos rectos es:

$$L=0,08 \text{ m}$$

La pérdida de energía mecánica debida a los tramos rectos se obtiene a partir de la ecuación A1.45:

$$\Delta F_R = 2 \cdot f \cdot v^2 \frac{L}{D} = 2 \cdot 0,0095 \cdot 0,96^2 \frac{0,08}{0,1521} = 0,01 \text{ J/kg}$$

En la tabla A1.36 se muestran los accidentes presentes en este tramo de tubería:

Tabla A1.36 Accidentes en tramo 3 de las conducciones de agua residual

Accidentes	K
Estrechamiento	$\left(1 - \frac{0,1521^2}{0,1901^2}\right)^2 = 0,129$
Válvula de asiento 1/2 abierta	36,0
Salida encañonada	1

La pérdida de energía mecánica en el tramo 3 debida a los accidentes se obtiene a partir de la ecuación A1.46:

$$\Delta F_A = k \cdot \frac{v^2}{2} = (0,129 + 36,0 + 1) \cdot 0,96^2 / 2 = 17,00 \text{ J/kg}$$

La pérdida de energía mecánica total en el tramo tres es:

$$\Delta F_T = 0,01 + 17,00 = 17,01 \text{ J/kg}$$

3.2.4 Tramo 4

En el tramo 4, se transporta el agua desde la bifurcación del tramo 2 hasta la bifurcación donde se separan los caudales que entran a la etapa 2 y 3

La velocidad de circulación del agua residual en este tramo se obtiene a partir de la ecuación A1.42:

$$v = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 0,0174}{\pi \cdot 0,1521^2} = 0,96 \text{ m/s}$$

A partir de la ecuación A1.43 se obtiene el valor de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} = \frac{1000 \cdot 0,96 \cdot 0,1521}{0,001} = 145559,7$$

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

La rugosidad relativa es:

$$\varepsilon_{\text{relativa}}=0,0015/0,1521= 0,0098$$

A partir de la gráfica de Moody se obtiene:

$$4f= 0,038 \quad f=0,0095$$

La longitud de los tramos rectos es:

$$L=6,03 \text{ m}$$

La pérdida de energía mecánica debida a los tramos rectos se obtiene a partir de la ecuación A1.45

$$\Delta F_R= 2 \cdot f \cdot v^2 \frac{L}{D} = 2 \cdot 0,0095 \cdot 0,957^2 \frac{6,03}{0,1521} = 0,69 \text{ J/kg}$$

En la tabla A1.37 se se muestran los accidentes presentes en este tramo de tubería:

Tabla A1.37 Accidentes en el tramo 4 de las conducciones de agua residual

Accidentes	K
Estrechamiento	$(1 - \frac{0,1521^2}{0,1901^2})^2 = 0,129$
T standart como división de caudal	1

La pérdida de energía mecánica debida a los accidentes se obtiene a partir de la ecuación A1.46:

$$\Delta F_A= k \cdot \frac{v^2}{2} = (0,129+1) \cdot 0,957^2/2= 0,52 \text{ J/kg}$$

La pérdida de energía mecánica total en este tramo es:

$$\Delta F_T= \Delta F_R + \Delta F_A = 0,69 + 0,52 = 1,20 \text{ J/kg}$$

3.2.5 Tramo 5

El tramo 5 transporta el caudal que entra a la etapa 2 desde la bifurcación del tramo 4 hasta la arqueta de entrada a la etapa 2.

La velocidad de circulación del agua residual en este tramo se obtiene a partir de la ecuación A1.42:

$$v= \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 0,0087}{\pi \cdot 0,1036^2} = 1,032 \text{ m/s}$$

A partir de la ecuación A1.43 se obtiene el valor de Reynolds:

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} = \frac{1000 \cdot 1,032 \cdot 0,1036}{0,001} = 106915,2$$

La rugosidad relativa es:

$$\epsilon_{relativa} = 0,0015 / 0,1036 = 0,014$$

A partir de la gráfica de Moody se obtiene:

$$4f = 0,043 \quad f = 0,01075$$

La longitud de los tramos rectos es:

$$L = 0,15 \text{ m}$$

La pérdida de energía mecánica debida a los tramos rectos se obtiene a partir de la ecuación A1.45:

$$\Delta F_R = 2 \cdot f \cdot v^2 \frac{L}{D} = 2 \cdot 0,01075 \cdot 1,032^2 \frac{0,15}{0,1036} = 0,033 \text{ J/kg}$$

En la tabla A1.38 se muestran los accidentes presentes en este tramo de tubería:

Tabla A1.38 Accidentes en el tramo 4 de las conducciones de agua residual

Accidentes	K
Estrechamiento	$(1 - \frac{0,1036^2}{0,1521^2})^2 = 0,287$
Válvula de asiento 1/2 abierta	36,0
Salida encañonada	1

La pérdida de energía mecánica debida a los accidentes se obtiene a partir de la ecuación A1.46:

$$\Delta F_A = k \cdot \frac{v^2}{2} = (0,287 + 36 + 1) \cdot 1,032^2 / 2 = 19,85 \text{ J/kg}$$

La pérdida de energía mecánica total es:

$$\Delta F_T = \Delta F_R + \Delta F_A = 0,033 + 19,85 = 19,88 \text{ J/kg}$$

3.2.6 Tramo 6

El tramo 6 transporta el caudal de entrada a la etapa 3 desde la bifurcación del tramo 4 hasta la arqueta de entrada a la etapa 3.

La velocidad de circulación del agua residual en este tramo se obtiene a partir de la ecuación A1.42:

$$v = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 0,0087}{\pi \cdot 0,1036^2} = 1,03 \text{ m/s}$$

A partir de la ecuación A1.43 se obtiene el valor de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} = \frac{1000 \cdot 1,032 \cdot 0,1036}{0,001} = 106915,2$$

La rugosidad relativa es:

$$\epsilon_{\text{relativa}} = 0,0015 / 0,1036 = 0,0144$$

A partir de la gráfica de Moody se obtiene:

$$4f = 0,043 \quad f = 0,01075$$

La longitud de los tramos rectos es:

$$L = 7,32 \text{ m}$$

La pérdida de energía mecánica debida a los tramos rectos se obtiene a partir de la ecuación A1.45:

$$\Delta F_R = 2 \cdot f \cdot v^2 \cdot \frac{L}{D} = 2 \cdot 0,01075 \cdot 1,03^2 \cdot \frac{7,32}{0,1036} = 1,62 \text{ J/kg}$$

En la tabla A1.39 se muestran los accidentes presentes en este tramo de tubería:

Tabla A1.39 Accidentes en el tramo 5 de las conducciones de agua residual

Accidentes	k
Estrechamiento	$(1 - \frac{0,1475^2}{0,1833^2})^2 = 0,124$
Válvula de asiento 1/2 abierta	36,0
Codo 90° standart	0,75
Salida encañonada	1

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

La pérdida de energía mecánica debida a los accidentes se obtiene a partir de la ecuación A1.46:

$$\Delta F_A = k \cdot \frac{v^2}{2} = (0,124+36,0+0,75+1) \cdot 1,032^2/2 = 20,17 \text{ J/kg}$$

La pérdida de energía mecánica total es:

$$\Delta F_T = \Delta F_R + \Delta F_A = 1,62 + 20,17 = 21,79 \text{ J/kg}$$

En la tabla A1.40 muestra un resumen de la pérdida de energía mecánica en todos los tramos y la pérdida de energía total de la conducción.

Tabla A1.40 Pérdida de energía total en las conducciones de agua residual

Tramos	ΔF_T (J/kg)
1	8,33
2	29,46
3	17,01
4	1,20
5	19,88
6	21,79

3.2.7 Balance de energía mecánica a las conducciones de agua residual

En este apartado se determina la carga del sistema y la potencia de la bomba que hay que instalar para que el caudal de agua residual circule desde el decantador primario hasta el tratamiento biológico. Para ello, será necesario realizar tres balances de energía mecánica, que son los siguientes:

- 4 El primer balance de energía mecánica se realiza entre el punto de entrada del agua residual a las arquetas del tratamiento biológico y el punto de bifurcación del tramo 1, donde se reparte el caudal entre las dos líneas de tratamiento. Con este balance se determina la presión en el punto de bifurcación del tramo 1.
- 5 El segundo balance se realiza entre el punto de bifurcación del tramo 1 y el punto de salida del caudal de la bomba. Con este balance se obtiene la presión en el punto de salida de la bomba.
- 6 El tercer balance se realiza entre el punto de entrada y el punto de salida del caudal de agua de la bomba. Con este balance se obtiene la carga del sistema y con ello se obtiene la potencia de la bomba que hay que suministrar.

3.2.7.1 BEM 1 para las conducciones de agua residual

El balance de energía mecánica 1, queda expresado de la siguiente manera:

$$g \cdot (z_3 - z_2) + \left(\frac{v_3^2}{2 \cdot \alpha_2^2} - \frac{v_2^2}{2 \cdot \alpha_1^2} \right) + \frac{p_3 - p_2}{\rho} + \Delta F = 0$$

Siendo:

- La diferencia de altura entre el punto de entrada del caudal a las arquetas del tratamiento biológico y el punto de bifurcación del tramo 1 es igual a 0.

$$z_3 - z_2 = 0 \text{ m}$$

- v_3 es la velocidad de circulación del agua residual en el punto de entrada a las arquetas del tratamiento biológico. Este valor es despreciable.
- v_2 es la velocidad de circulación del agua residual después de la bifurcación y es igual a la velocidad de circulación en el tramo 2:

$$v_2 = 1,22 \text{ m/s}$$

- p_3 es la presión en el punto de entrada del agua a las arquetas del tratamiento biológico. Esta presión se determina teniendo en cuenta la diferencia de altura entre la superficie de agua del reactor biológico y el punto de entrada del agua a las arquetas que es 1,89 m. La presión 3 queda de la siguiente manera:

$$p_3 = p_{\text{atm}} + p_{\text{manométrica}} = p_{\text{atm}} + \rho_{\text{agua}} \cdot h \cdot g = 101325 + 1000 \cdot 1,89 \cdot 9,81 = 119865,9 \text{ Pa}$$

- p_2 es la presión en el punto de bifurcación del tramo 1. Este valor es el que se determina en este balance de energía mecánica.
- ΔF es la pérdida de energía mecánica que se produce en los tramos que van desde la bifurcación del tramo 1 hasta las arquetas de entrada al reactor biológico y es igual a la suma del ΔF de los tramos 2,3,4,5,6.

$$\begin{aligned} \Delta F &= \Delta F_{\text{TRAMO 2}} + \Delta F_{\text{TRAMO 3}} + \Delta F_{\text{TRAMO 4}} + \Delta F_{\text{TRAMO 5}} + \Delta F_{\text{TRAMO 6}} \\ &= 29,46 + 17,01 + 1,20 + 19,88 + 21,79 = 89,34 \text{ J/kg} \end{aligned}$$

Sustituyendo estos valores en el balance 1, se obtiene:

$$-\frac{1,22^2}{2 \cdot 1^2} + \frac{119865,9 - p_2}{1000} + 89,34 = 0$$

Despejando, se obtiene el valor de p_2 :

$$p_2 = 208461,70 \text{ Pa}$$

3.2.7.2 BEM 2 para las conducciones de aguas residual

El balance de energía mecánica 2, queda expresado de la siguiente manera:

$$g \cdot (z_2 - z_1) + \left(\frac{v_2^2}{2 \cdot \alpha_2} - \frac{v_1^2}{2 \cdot \alpha_1} \right) + \frac{p_3 - p_2}{\rho} + \Delta F = 0$$

Siendo:

- La diferencia de altura entre el punto de bifurcación del tramo 1 y el punto de salida del agua de la bomba es:

$$z_2 - z_1 = -1,39 \text{ m}$$

- v_2 es la velocidad de circulación del caudal antes del punto de bifurcación y es igual a la velocidad de circulación en el tramo 1:

$$v_2 = 1,57 \text{ m/s}$$

- v_1 es la velocidad del agua residual en el punto de salida de la bomba. En este punto, la velocidad es diferente a la del tramo 1, ya que se encuentra antes del ensanchamiento de la tubería. Este tramo tiene un diámetro interno de 0,1901m, por lo cual la velocidad será igual a:

$$v_1 = \frac{4 \cdot 0,069}{\pi \cdot 0,1901^2} = 2,43 \text{ m/s}$$

- p_2 es la presión en el punto de bifurcación del tramo 1 y se ha calculado en el balance de energía mecánica anterior.

$$p_2 = 208461,70 \text{ Pa}$$

- P_1 es la presión en el punto de salida de la bomba, y se obtiene a partir de este balance de energía mecánica.
- ΔF es la pérdida de energía mecánica que se produce en el tramo 1 y es igual a:

$$\Delta F_{\text{TRAMO 1}} = 8,33 \text{ J/kg}$$

Sustituyendo estos valores en el balance 2, se obtiene:

$$9,81 \cdot (-1,39) + \left(\frac{1,57^2}{2 \cdot 1^2} - \frac{2,43^2}{2 \cdot 1^2} \right) + \frac{208461,70 - p_1}{1000} + 8,33 = 0$$

Despejando, se obtiene el valor de p_1 :

$$p_1 = 201435,8 \text{ Pa}$$

3.2.7.3 BEM 3 para las conducciones de agua residual

El balance de energía mecánica 3, queda de la siguiente manera:

$$h_s = (z_1 - z_0) + \left(\frac{v_1^2}{2 \cdot g \cdot \alpha_2^2} - \frac{v_0^2}{2 \cdot g \cdot \alpha_1^2} \right) + \frac{p_1 - p_0}{\rho \cdot g} + \frac{\Delta F}{g}$$

Siendo:

- La diferencia de altura entre el punto de entrada y el de salida del agua residual de la bomba igual a 0.

$$(z_1 - z_0) = 0 \text{ m}$$

- v_0 es la velocidad del agua residual en el punto de entrada a la bomba. Este valor es despreciable.
- v_1 es la velocidad del agua residual en el punto de salida de la bomba y es igual a 2,43 m/s
- P_1 es la presión en el punto de salida del caudal la bomba y este valor que se ha calculado en el balance de energía mecánica anterior:

$$p_1 = 201435,80 \text{ Pa}$$

- P_0 es la presión en el punto de entrada del caudal a la bomba y se calcula teniendo en cuenta la diferencia de altura entre la superficie del agua del decantador primario y el punto de entrada del agua a la bomba, y está altura es de 1 m, por lo tanto la P_0 queda de la siguiente manera:

$$p_0 = p_{\text{atm}} + p_{\text{manométrica}} = 101325 + 1000 \cdot 1 \cdot 9,81 = 111135,00 \text{ Pa}$$

- ΔF es igual a 0 ya que no existe tramos rectos ni accidentes entre los puntos de entrada y el de salida del agua residual de la bomba.
- h_s es la carga del sistema y se obtiene a partir del balance de energía mecánica.

Sustituyendo estos valores en el balance 3, se obtiene:

$$h_s = \frac{2,43^2}{2 \cdot 1^2} + \frac{201435,80 - 111135}{1000 \cdot 9,81}$$

La carga del sistema que se obtiene es:

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

$$h_s=12,16 \text{ m}$$

La potencia de la bomba que hay que suministrar es:

$$P = \frac{h \cdot g \cdot Q \cdot \rho}{\eta} = \frac{12,16 \cdot 9,81 \cdot 0,069 \cdot 1000}{0,75} = 10974,64 \text{ W}$$

A continuación se muestra un gráfica donde aparece la carga que suministra la bomba de la marca Grundfos, la potencia de la bomba y el rendimiento, según el caudal que circula.

RENDIMIENTO

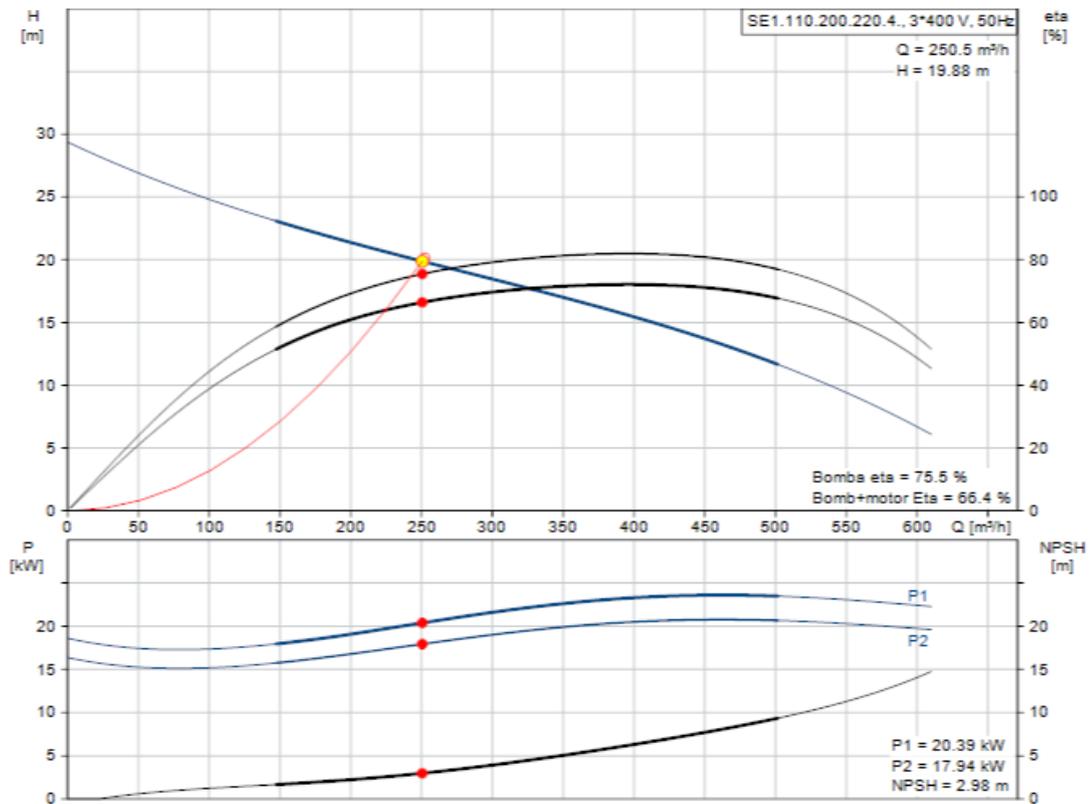


Figura A1.9 Rendimiento de la bomba de impulsión de agua residual

Se observa que para el caudal que circula por las conducciones de agua residual, la bomba es capaz de suministrar 19,88 m de carga y 20,39 kW de potencia, valores suficientes para impulsar el caudal de agua residual.

ANEXO N°2 ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

ÍNDICE ANEXO N°2

1. MEMORIA.....	1
1.1 OBJETO DE ESTUDIO.....	1
1.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS OBRAS.....	1
1.2.1 Descripción de la obra.....	1
1.3 INTERENCIAS Y SERVICIOS PRESTADOS.....	1
1.4 PRESUPUESTO DE LAS OBRAS.....	2
1.5 PLAZO DE EJECUCIÓN.....	2
1.6 NÚMERO DE OPERARIOS.....	2
1.7 DESCRIPCIÓN.....	2
1.7.1 Fases de la obra de interés a la prevención	2
1.7.2 Medidas auxiliares	2
1.7.3 Maquinaria prevista	3
1.8 RIESGOS PROFESIONALES	3
1.8.1 Movimiento de tierras	3
1.8.2 Colocación de tuberías	3
1.8.3 Cimentaciones.....	3
1.8.4 Encofrados.....	4
1.8.5 Ferrallado	4
1.8.6 Hormigado	5
1.8.7 Montaje de prefabricados	5
1.9 MEDIDAS DE PROTECCIÓN COLECTIVAS.....	5
1.9.1 Señalización general	6
1.9.1.1 Señales de prohibición	7
1.9.1.2 Señales de advertencia.....	7
1.9.1.3 Señales de obligación.....	8
1.9.1.4 Señales de lucha contra incendio.....	8
1.9.2 Movimiento de tierras.....	8
1.9.3 Estructura y cerramiento	9
1.10 MEDIOS DE PROTECCIÓN PERSONAL	9
1.10.1 Protección de la cabeza	9
1.10.2 Protección del cuerpo	9
1.10.3 Protección extremidades superiores	9

1.10.4	Protección extremidades inferiores	9
1.11	PREVENCIÓN DE DAÑOS A TERCEROS	10
1.12	MEDICINA PREVENTIVA Y PRIMEROS AUXILIOS.....	10
1.12.1	Accidentes e incidentes.....	10
1.12.2	Botiquines	10
1.12.3	Asistencia a accidentados,.....	10
1.12.4	Reconocimiento médico,.....	12
1.13	FORMACIÓN DE SEGURIDAD E HIGIENE	12
1.14	LIBRO DE INCIDENCIAS	12
2.	PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS PARTICULARES	14
2.1	CONDICIONES DE LOS MEDIOS DE PROTECCIÓN	15
2.1.1	Protecciones personales	14
2.1.2	Normas o medidas preventivas colectivas	14
2.1.2.1	Fases de la obra	15
2.1.2.1.1	Vaciados.....	15
2.1.2.1.2	Zanjas.....	16
2.1.2.1.3	Encofrados.....	17
2.1.2.1.4	Ferrallado.....	17
2.1.2.1.5	Trabajos de hormigonado	18
2.1.2.2	Medios auxiliares.....	22
2.1.2.2.1	Andamios	22
2.1.2.2.2	Escalera de mano	23
2.1.2.2.3	Puntales	24
2.1.2.2.4	Pasillo de seguridad	24
2.1.2.3	Maquinaria	24
2.1.2.3.1	Maquinaria para el movimiento de tierras.....	24
2.1.2.3.2	Grúa	25
2.1.2.3.3	Camión grúa.....	25
2.1.2.3.4	Dobladora mecánica de ferralla	26
2.1.2.4	Protección contra incendios	27
2.1.2.5	Riegos	27
2.2	SERVICIO DE PROTECCIÓN	27
2.2.1	Servicio técnico de seguridad y salud	27
2.2.2	Servicio médico	27

2.3 OBLIGACIONES DEL COORDINADOR EN MATERIA DE SEGURIDAD Y SALUD DURANTE LA EJECUCION DE LA OBRA.....	27
2.4 OBLIGACIONES DE LOS CONTRATISTAS Y SUBCONTRATISTAS.....	28
2.5 OBLIGACIONES DE LOS TRABAJADORES AUTÓNOMOS.....	29
2.6 INSTALACIONES MÉDICAS	30
2.7 INSTALACIONES DE HIGIENE Y BIENESTAR	30
2.8 PARALIZACIÓN DE LOS TRABAJOS	30

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

1. MEMORIA

1.1 OBJETO DE ESTUDIO

En el estudio de seguridad y salud, se muestra las directrices a seguir a la hora de realizar las obras necesarias para la instalación del nuevo diseño de forma que se garantice la total seguridad y se cumpla las normas fijadas en el Real Decreto 1627/1997 de 24 de octubre, que establece las disposiciones mínimas de seguridad y de salud que deben de aplicarse en las obras de construcción.

Además, establece las previsiones respecto a la prevención de riesgos accidentes laborales y enfermedades profesionales, derivados de la ejecución de esta obra.

1.2 CARACTERÍSTICAS DE LA OBRA

1.2.1 Descripción de la obra

La obra proyectada consiste en la modificación de un “Reactor Biológico para el tratamiento secundario de las aguas residuales de uso doméstico procedentes de las viviendas del municipio de Benicasim” presente en la planta. Las partes de las que consta el proyecto son las siguientes:

- Movimiento de tierras: desbroce y explanación de la parcela.
- Obra civil de los depósitos.
- Obra civil e instalación de tuberías exteriores que componen la línea de tratamiento.
- Instalación de equipos.
- Automatización.
- Puesta en marcha y corrección de errores.

La descripción de cada uno de estos procesos viene detallada en la Memoria del presente proyecto.

1.3 INTERFERENCIAS Y SERVICIOS AFECTADOS

Antes del comienzo de la obra se comprobarán los servicios que pudieran verse afectados por la obra (agua, teléfono, gas, alcantarillado...) para adoptar las medidas precisas ante cualquier eventualidad.

1.4 PRESUPUESTO DE LAS OBRAS

El presupuesto base de licitación viene en la memoria del presente proyecto.

1.5 EJECUCIÓN DE LA OBRA

El plazo de ejecución de las obras es de 6 meses. A continuación, se exponen como posible riesgo, las medidas preventivas de seguridad y salud.

1.6 NÚMERO DE OPERARIOS

Estimación de mano de obra en punta de ejecución: 6 operarios.

1.7 DESCRIPCIÓN

1.7.1 Fases de la obra de interés a la prevención.

Según se desprende de la descripción de las obras, las fases de las obras que son de interés en la prevención:

- Movimiento de tierras y vaciado.
- Excavaciones en zanja para tuberías: para la instalación de red de tuberías.
- Encofrados. Comprenden el conjunto de moldes que se utiliza para dar forma al hormigón.
- Ferrallado: comprende el armado de los distintos elementos que componen el edificio y el armado de todas las cimentaciones de todos los edificios y depósitos y en general, en cualquier tipo de trabajo que suponga la manipulación de ferralla.
- Hormigonado: Puesta en obra del hormigón en cualquier elemento.

1.7.2 Medidas auxiliares

Según se desprende de las fases de obra mencionadas, los medios auxiliares a utilizar y que pueden ser objeto de estudio de seguridad, son los siguientes:

- Andamios.
- Plataforma de soldador en altura.
- Escalera de mano.
- Puntales.

1.7.3 Maquinaria prevista

- Maquinaria para el movimiento de tierras.

- Camión de transporte.
- Camión grúa.
- Camiones hormigonera.
- Dobladora mecánica de ferralla.
- Rodillo vibrante autopropulsado.

1.8 RIESGOS PROFESIONALES

1.8.1 Movimiento de tierras

- Desplome de tierras.
- Desprendimiento de tierras por alteración del corte por exposición a la intemperie durante largo tiempo.
- Desprendimiento de tierras por soportes próximos al borde de la excavación
- Atropello, colisiones, vuelcos y falsas maniobras de la maquinaria para el movimiento de tierra.
- Caída de personas, maquinaria u objetos desde el borde de coronación de la excavación.
- Caída de personas al mismo nivel.
- Interferencias con conducciones de agua enterradas.
- Interferencias con conducciones de energía eléctrica.

1.8.2 Colocación de tuberías

- Caída de personas al mismo nivel.
- Caída de personas a distinto nivel .
- Desplome de los paramentos de la zanja.
- Atropellos y colisiones.
- Atropello de personas.
- Vuelcos del camión.

1.8.3 Cimentaciones

Las cimentaciones superficiales se realizarán mediante losa de hormigón o zapatas. Los riesgos se pueden producir durante el vaciado y durante la manipulación de hormigón, ferralla y encofrados. Los accidentes que pueden ocurrir son los siguientes:

- Desplome de tierras.

- Desplazamiento de la coronación de los taludes.
- Desplome de tierras (o rocas) por filtraciones.
- Desplome de tierras por bolos ocultos.
- Desplome de tierras por sobrecarga de los bordes de coronación de los taludes.
- Desprendimiento de tierras por alteración del corte por exposición a la intemperie durante largo tiempo.
- Desprendimiento de tierras por afloramiento del nivel freático.
- Atropellos, colisiones, vuelcos y falsas maniobras de la maquinaria para movimiento de tierras.
- Caída de personas desde el borde de la coronación.
- Interferencia por conducciones de agua enterradas.
- Caída de personas al mismo nivel.

1.8.4 Encofrados

- Desprendimientos por mal apilado.
- Caída del encofrado durante los trabajos de encofrado o durante las maniobras de izado a las plantas.
- Caída de los encofradores en los trabajos de encofrado.
- Caída de personas al trabajar o caminar sobre los fondillos de las vigas, o por el borde o huecos del forjado.
- Caída de personas al mismo nivel.
- Cortes al utilizar la sierra de mano o circular.
- Golpes en las manos durante la clavazón.
- Pisadas sobre objetos punzantes.
- Electrocutión por anulación de tomas de tierra de maquinaria eléctrica.

1.8.5 Ferrallado

- Cortes y heridas en manos y pies por manejo de redondos de acero.
- Aplastamiento durante las operaciones de carga y descarga de paquetes de ferralla.
- Golpes por caída o giro descontrolado de la carga suspendida .
- Tropiezos y torceduras al caminar sobre las armaduras.
- Caídas al mismo nivel.
- Caídas a distinto nivel.

1.8.6 Hormigonado

- Caída de personas y/u objetos al mismo nivel.
- Caída de personas y/u objetos a distinto nivel.
- Hundimiento de encofrados.
- Rotura o reventón de encofrados.
- Pisadas sobre objetos punzantes.
- Pisadas sobre superficies de tránsito.
- Las derivadas de trabajos sobre suelos húmedos o mojados.
- Contactos con el hormigón (dermatitis por cementos).
- Fallo de entibaciones.
- Corrimientos de tierras.
- Atrapamientos.
- Electrocutación.
- Contactos eléctricos.

1.8.7 Montaje de prefabricados

- Golpes a las personas por el transporte en suspensión de grandes piezas.
- Atrapamientos durante maniobras de ubicación.
- Caídas de personas al mismo nivel.
- Caídas de persona a distinto nivel.
- Vuelco de piezas prefabricadas.
- Desplome de piezas prefabricadas.
- Cortes por manejo de herramientas manuales.
- Cortes o golpes por manejo de máquinas o herramientas.
- Aplastamientos de manos o pies al recibir piezas.
- Los derivados de la realización de trabajos bajo régimen de fuertes vientos.

1.9 MEDIDAS DE PROTECCIÓN COLECTIVA

Las normas de seguridad y las características concretas de los medios de protección a adoptar en cada una de las fases que pueden ser objeto de prevención se desarrollan detalladamente en el Pliego de Condiciones.

1.9.1 Señalización general

- Señales de STOP en salidas de vehículos.
- Los puntos de peligro (pozos, zanjas, zonas de acción de una máquina, etc.) deben de señalizarse.
- Los caminos y vías de acceso al tajo, o a las zonas de trabajo, deben de estar convenientemente señalizadas.
- Señalizar posibles limitaciones de altura o carga máxima, peligro por riesgo eléctrico, obligación de uso de determinados equipos de protección (EPI's), precaución productos químicos, prohibición fumar o encender fuego, etc.
- En relación al punto anterior, hay que tener presente que un exceso de señalización prescindible o redundante en una misma zona puede anular el fin preventivo de la señalización, porque al dar un exceso de información no se alcanza a entender cuál de todas las señales es la más relevante.
- Es importante utilizar señalización personal en caso de trabajo en horario nocturno (chalecos reflectantes o similares).
- Los obstáculos difícilmente perceptibles deben de rodearse con objetos visibles, cintas, conos, vallas, etc.
- Una vez finalizadas las obras, se debe asegurar que se hayan retirado todas las señalizaciones. Las señalizaciones de larga duración deben de ser revisadas periódicamente para asegurarse un buen funcionamiento/estado.
- En los trabajos nocturnos, es necesario que la zona de trabajo esté perfectamente iluminada.
- En aquellos casos que sea necesario, los vehículos que les sea de aplicación deberán de cumplir con las obligaciones en materia de señalización de seguridad, así como otras señales de advertencia (acústicas, etc.) es importante.
- Siempre y cuando se vayan a realizar trabajos en vía pública de reparación, mantenimiento de instalaciones u obra menor, no deberán comenzarse los trabajos hasta asegurarse la correcta señalización de la zona de trabajo.
- La señalización, se deberá realizar atendiendo a tres elementos fundamentales: Color, Forma y Esquema. Se muestran a continuación las señales más usuales con su significado:

1.9.1.1 Señales de prohibición



Prohibido fumar



Prohibido fumar y encender fuego



Prohibido pasar a los peatones



Prohibido apagar con agua



Entrada prohibida a personas no autorizadas



Agua no potable



Prohibido a los vehículos de manutención



No tocar

1.9.1.2 Señales de advertencia



Materias inflamables



Materias explosivas



Materias tóxicas



Materias corrosivas



Materias radiactivas



Cargas suspendidas



Vehículos de manutención



Riesgo eléctrico



Peligro en general



Radiaciones láser



Materias comburentes



Radiaciones no ionizantes



Campos magnéticos intensos



Riesgo de tropezar



Caída a distinto nivel



Riesgo biológico



Baja temperatura



Materias nocivas o irritantes

1.9.1.3 Señales de obligación



1.9.1.4 Señales de lucha contra incendio



1.9.2 Movimiento de tierras

Se señalizará mediante una línea (en yeso, cal, etc.) la distancia de seguridad mínima de aproximación, 2 m, al borde del vaciado.

La coronación de taludes del vaciado a las que deben acceder las personas, se protegerá mediante una barandilla, cuyas características vienen definidas en el Pliego de Condiciones.

Se instalará una barrera de seguridad (valla, barandilla, acera, etc.) de protección del acceso peatonal al fondo de la excavación, separada de la superficie dedicada al tránsito de vehículos.

1.9.3 Estructura y cerramiento

- Mallazo resistente en huecos horizontales.
- Barandillas rígidas en borde de forjado.
- Plataformas voladas para retirar elementos de encofrado.
- Castilletes de hormigonado.
- Carro porta-botellas.
- Válvulas antirretroceso en mangueras.
- Se utilizarán andamios sobre borriquetes o tubulares, de 60 cm de ancho con barandilla.

1.9.4 Protección contra incendios

Se emplearán extintores portátiles, situados de forma visible en zonas accesibles de la obra.

1.10 MEDIOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

1.10.1 Protección de la cabeza

- Cascos: Para todas las personas que trabajan en la obra, incluidos visitantes.
- Gafas contra impactos y antipolvo.
- Mascarillas antipolvo.
- Filtros para mascarilla.
- Pantalla contra proyección de partículas.
- Protectores auditivos.

1.10.2 Protección del cuerpo

- Cinturón de seguridad, cuya clase se adaptará a los riesgos específicos de cada trabajo.
- Cinturón anti vibratorio.

- Monos: Se tendrán en cuenta las reposiciones a lo largo de la obra, según Convenio Colectivo Provincial.
- Trajes de agua: se prevé un acopio en obra.
- Mandil de cuero.

1.10.3 Protección extremidades superiores

- Guantes de goma finos, para albañiles y operarios que trabajen en hormigonado.
- Guantes de cuero y anticorte para manejo de materiales y objetos.
- Guantes dieléctricos para su utilización en baja tensión.
- Equipo de soldador.

1.10.4 Protección extremidades inferiores

- Botas de agua, de acuerdo con MT.27.
- Botas de seguridad, clase III .

1.11 PREVENCIÓN DE DAÑOS A TERCEROS

- Se prevé el cercado con valla, incluso puertas de acceso de personal y vehículos, en aquellos casos en que sea necesario.
- Se señalizará la obra convenientemente, quedando prohibida la entrada a toda persona ajena a la obra.

1.12 MEDICINA PREVENTIVA Y PRIMEROS AUXILIOS

1.12.1 Accidentes e incidentes

Cada obra de construcción debe incluir un procedimiento de actuación ante situaciones de emergencia actualizado y adaptado a las características, magnitud y necesidades de la obra.

1.12.2 Botiquines

Se dispondrá de dos botiquines conteniendo el material especificado en la Ordenanza General de Seguridad y Salud en las Obras de Construcción.

1.12.3 Asistencia a accidentados

Se dispondrá en lugares visibles listas con los teléfonos y direcciones de los centros asignados para urgencias, ambulancias, taxis, etc., para garantizar un rápido transporte de

los posibles accidentados a los Centros de asistencia. Se podrá solicitar ayuda llamando al número 112, o cualquier otro número de los relacionados en la lista de teléfonos de emergencia.

Si el accidentado no puede ser trasladado mientras llegan los servicios asistenciales al lugar del accidente, hay que tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Dé la alarma a otras personas que puedan prestarle ayuda. Indíqueles si es necesario solicitar asistencia sanitaria exterior.
- Actúe rápidamente, pero con serenidad.
- Aparte a curiosos y personas no necesarias.
- Cuando hay varios heridos, es necesario percatarse de cuál de ellos necesita que se le ayude primero.
- Detenga las máquinas y/o ponga las instalaciones en condiciones de seguridad, para evitar que se produzca un nuevo accidente o se agraven las consecuencias del que ha ocurrido.
- Retire a la víctima del lugar del accidente, si es seguro para la persona lesionada y para usted.
- Aplique los **PRIMEROS AUXILIOS** adecuados al estado y lesiones sufridas por la víctima del accidente:
- La hemorragia y la falta de respiración deben ser tratados con la máxima prioridad.
- Una persona que haya perdido el conocimiento debe ser acostada con la cabeza al mismo nivel que el resto del cuerpo.
- Si tiene la cara congestionada, entonces la cabeza debe levantarse.
- Si se presentan vómitos, la cabeza se pondrá de lado.
- Las heridas y quemaduras deben ser protegidas.
- Las fracturas deben ser inmovilizadas.
- Hay que abrigar al lesionado y deshacer o aflojar vestidos, o cualquier prenda que pueda oprimir.
- Hay que manejar al herido con precaución moviéndole lo menos posible en caso de fractura. Es muy importante que se le tranquilice y anime.

- Ante la más leve sospecha de lesión en la médula espinal (cuello y columna) del accidentado, no moverlo de su posición hasta que llegue un facultativo cualificado.
- Cuando la ropa cubra cualquier parte del cuerpo donde se sospeche que existe lesión, debe eliminarse esta parte de la prenda, cortando o rasgando la tela. En quemaduras, cuando la ropa aparece pegada a la piel, es preferible no tocarla.
- No debe administrarse bebida alguna a una persona inconsciente. Aún con el conocimiento recobrado, no se le debe dar bebidas alcohólicas.

1.12.4 Reconocimiento médico

Todo el personal que empiece a trabajar en la obra, pasará un reconocimiento médico previo al trabajo y que será repetido en el periodo de un año.

1.13 FORMACIÓN DE SEGURIDAD E HIGIENE

Todo el personal debe recibir, al ingresar en la obra, exposición de los métodos de trabajo y los riesgos que estos pudieran entrañar, juntamente con las medidas de seguridad que deberá adoptar.

1.14 LIBRO DE INCIDENCIAS

En cada centro de trabajo existirá con fines de control y seguimiento del plan de Seguridad y Salud un libro de incidencias que constará de hojas por duplicado habilitado al efecto. El libro de incidencias será facilitado por:

- a) El colegio profesional al que pertenezca el técnico que haya aprobado el plan de Seguridad y Salud.
- b) La Oficina de Supervisión de Proyectos u órgano equivalente cuando se trate de obras de las Administraciones Públicas.

El libro de incidencias, que deberá mantener siempre en la obra, estará en poder del Coordinador en materia de Seguridad y Salud durante la ejecución de la obra. A dicho libro tendrán acceso la dirección facultativa de la obra, los Contratistas y los Subcontratistas y los trabajadores autónomos, así como las personas u órganos con responsabilidades en materia de prevención en las empresas intervinientes en la obra, los representantes de los trabajadores y los técnicos de los órganos especializados en materia de seguridad y salud en el trabajo de Administraciones Públicas competentes, quienes podrán hacer anotaciones en el mismo, relacionadas con fines que al libro se le reconocen.

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

Efectuada una anotación en el libro de incidencias, el Coordinador en materia de seguridad y salud, durante la ejecución de la obra, estará obligado a remitir en el plazo de veinticuatro horas, una copia a la Inspección de Trabajo y Seguridad Social de la provincia en que se realice la obra. Igualmente deberán notificar las anotaciones en el libro al Contratista afectado y a los representantes de los trabajadores de éste.

Constarán en el libro de incidencias todas aquella información y detalles relativos al desarrollo de las obras que el director considere oportuno, así como los siguientes:

- Condiciones atmosféricas generales.
- Relación de trabajos efectuados, con detalle de su localización dentro de la obra.
- Relación de ensayos efectuados con resumen de los resultados o relación de los documentos que estos recogen.
- Relación de maquinaria en obra, con expresión de cuál ha sido activa y en que tajo y cual averiada y en reparación.
- Cualquier otra circunstancia que pueda influir en la calidad o el ritmo de ejecución de obra.

2. PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS PARTICULARES

El presente Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, constituye el conjunto de normas que, junto a las establecidas en el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para las obras de diseño de un reactor biológico para un tratamiento secundario de aguas residuales, definen los requisitos técnicos necesarios para llevar a cabo la obra de este proyecto.

Son de obligado cumplimiento, todas las disposiciones descritas en el Pliego de Condiciones del Estudio de Seguridad y Salud, así como las siguientes Leyes y Decretos:

- Ley 31/1995, de 8 de noviembre. Ley de Prevención de Riesgos Laborales.
- Real Decreto 39/1997, del 17 de Enero. Reglamento de los Servicios de Prevención. Estatuto de los Trabajadores.
- REAL DECRETO 1627/1997, de 24 de Octubre, por el que se establecen:
 - disposiciones mínimas en Seguridad y Salud.
 - Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo (OM 9-3-71) (BOE 16-3-71).
 - Plan Nacional de Higiene y Seguridad en el Trabajo (OM 9-3-71) (BOE 11.3.71).
 - Comités de Seguridad e Higiene en el Trabajo (Decreto 432/71, 11-3-71) (BOE 16-3-71).
 - Reglamento de Seguridad e Higiene en la Industria de la Construcción (OM 20-5-52) (BOE 15-6-52).
 - Reglamento de los Servicios Médicos de Empresa (OM 21-11-59) (BOE 27-11-59).
 - Ordenanza de Trabajo de la Construcción, Vidrio y Cerámica (OM 28-8-70) (BOE 5/7/8/9-9-70)
 - Homologación de medios de protección personal de los trabajadores (OM 17-5-74) (BOE 29-5-74). – Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (OM 20-9-73) (BOE 9-10-73).

- Reglamento de aparatos elevadores para obras (OM 23-5-77) (BOE 14-6-77).
- Convenio Colectivo Provincial de la Construcción.
- Demás disposiciones oficiales relativas a la Seguridad e Higiene y Medicina del Trabajo que puedan afectar a los trabajos que se realicen en la obra. – Reglamento de Seguridad en las máquinas (26-5-86) (BOE 21-7-86).
- LEY 54/2003, de 12 de Diciembre, de reforma del marco normativo de la prevención de riesgos laborales.

2.1 CONDICIONES DE LOS MEDIOS DE PROTECCIÓN

Todas las prendas de protección personal o elementos de protección colectiva tendrán fijado un periodo de vida útil, desechándose a su término. Cuando por las circunstancias del trabajo se produzca un deterioro más rápido en una determinada prenda o equipo, se repondrá ésta, independientemente de la duración prevista o fecha de entrega.

Toda prenda o equipo de protección que haya sufrido un trato límite, es decir, el máximo para el que fue concebido (por ejemplo, por un accidente), será desechado y repuesto al momento.

Aquellas prendas que por su uso hayan adquirido más holgura o tolerancias de las admitidas por el fabricante, serán repuestas inmediatamente. El uso de una prenda o equipo de protección nunca representará un riesgo en sí mismo.

2.1.1 Protecciones personales

Todo elemento de protección personal se ajustará a las Normas de Homologación del Ministerio de Trabajo (OM 17-5-74) (BOE 29-5-74), siempre que exista en el mercado. En los casos en que no exista Norma de Homologación Oficial, serán de calidad adecuada a sus respectivas prestaciones.

2.1.2 Normas o medidas preventivas colectivas

2.1.2.1 Fases de la obra

2.1.2.1.1 Vaciados

La coronación de taludes del vaciado a las que deben acceder las personas se protegerá mediante una barandilla de 90 cm de altura, formada por pasamanos, listón intermedio y

rodapié, situadas a dos metros como mínimo del borde de coronación del talud (como norma general).

Se prohíbe realizar cualquier trabajo al pie de taludes inestables.

Como norma general, habrá que entibar los taludes que cumplan cualquiera de las siguientes condiciones expuestas en la tabla 1:

Tabla A2.1. Condiciones para cuando entibar taludes.

Pendiente	Tipo de terreno
1	Terrenos movedizos, desmontables
0,5	Terrenos blandos pero resistentes
1/3	Terrenos muy compactos

La circulación de vehículos se realizará a un máximo de aproximación al borde de la excavación no superior a los 3 metros para vehículos ligeros, y de 4 metros para vehículos pesados.

Se desmochará el borde superior del corte vertical en bisel, con pendiente 1/1, 1/2 ó 1/3, según el tipo de terreno, estableciéndose la distancia mínima de seguridad de aproximación al borde, a partir del corte superior del bisel. (En este caso como norma general será de 2 m. más la longitud de la proyección en planta del corte inclinado).

2.1.2.1.2 Zanjas

El acceso y salida de una zanja se efectuará mediante una escalera sólida, anclada en el borde superior de la zanja y estará apoyada en una superficie sólida de reparto de cargas. La escalera sobrepasará un metro del borde de la zanja.

Quedan prohibidos los acopios (tierras, materiales, etc.) a una distancia inferior a los 2,00 m como norma general, del borde de la zanja.

Cuando la profundidad de una zanja sea igual o superior a los 2 m. se protegerán los bordes de coronación mediante una barandilla reglamentaria (pasamanos, listón intermedio y rodapié) situada a una distancia mínima de 2 m.

Cuando la profundidad sea inferior a los 2 m se instalará una señalización de peligro, con vallas y/o cordón de balizamiento, o bien con una línea de cal o yeso situada a dos metros del borde de la zanja y paralela a la misma.

2.1.2.1.3 Encofrados

El ascenso y descenso del personal a los encofrados se efectuará a través de escaleras de mano reglamentarias.

Se instalarán listones sobre los fondos de madera de las losas de escalera para permitir tránsito un más seguro en esta fase y evitar deslizamientos.

Se instalarán barandillas reglamentarias en los frentes de aquellas losas horizontales para impedir la caída al vacío de las personas.

Se esmerará el orden y la limpieza durante la ejecución de los trabajos. Los clavos sueltos o arrancados se eliminarán mediante un barrido y apilado en lugar conocido para su posterior retirada.

Se instalarán las señales correspondientes de peligro. El desencofrado se realizará siempre con ayuda de uñas metálicas realizándose siempre desde el lado del que no puede desprenderse la madera, es decir, desde el ya desencofrado.

No se debe encofrar sin antes haber cubierto el riesgo de caídas desde altura mediante la rectificación de la situación de las redes.

No se debe pisar directamente sobre las sopandas. Se tenderán tableros que actúen de "caminos seguros" y se circulará sujetos a cables de circulación con el cinturón de seguridad.

El empresario garantizará a la Dirección Facultativa que el trabajador es apto o no para el trabajo de encofrador, o para el trabajo en altura.

Antes del vertido del hormigón, el Comité de Seguridad y en su caso, el Vigilante de Seguridad, comprobará en compañía del técnico cualificado, la buena estabilidad del conjunto.

2.1.2.1.4 Ferrallado

El transporte aéreo de paquetes de armaduras mediante grúa se ejecutará suspendida la carga de dos puntos, para evitar deformaciones y desplazamientos no deseados.

Se efectuará un barrido diario de puntas, alambres, y recortes de ferralla en torno al banco.

Se prohíbe trepar por las armaduras.

2.1.2.1.5 Trabajos de hormigonado

Vertidos directos mediante canaleta:

Se deben instalar fuertes topes al final del recorrido de los camiones hormigonera, en evitación de vuelcos.

No se deben acercar las ruedas de los camiones hormigoneras a menos de 2 m. (como norma general) del borde de la excavación.

Se evitará situar a los operarios detrás de los camiones hormigonera durante el retroceso.

Se instalarán barandillas sólidas en el frente de la excavación protegiendo el tajo de guía de la canaleta.

Se instalará un cable de seguridad amarrado a "puntos sólidos", en el que enganchar el mosquetón del cinturón de seguridad en los tajos con riesgo de caída desde altura.

La maniobra de vertido será dirigida por un Capataz que vigilará no se realicen maniobras inseguras.

Vertido mediante cubo o cangilón:

No se debe permitir cargar el cubo por encima de la carga máxima admisible de la grúa que lo sustenta.

Se señalará mediante una traza horizontal, ejecutada con pintura en color amarillo, el nivel máximo de llenado del cubo para no sobrepasar la carga admisible.

Se señalará mediante trazas en el suelo, (o "cuerda de banderolas") las zonas batidas por el cubo.

La apertura del cubo para vertido se ejecutará exclusivamente accionando la palanca para ello, con las manos protegidas con guantes impermeables.

La maniobra de aproximación, se dirigirá mediante señales preestablecidas fácilmente inteligibles por el gruista o mediante teléfono autónomo.

Se procurará no golpear con cubo los encofrados ni las entibaciones.

Del cubo (o cubilete) penderán cabos de guía para ayuda a su correcta posición de vertido. Se prohíbe guiarlo o recibirlo directamente, en prevención de caídas por movimiento pendular del cubo.

Vertido de hormigón mediante bombeo:

El equipo encargado del manejo de la bomba de hormigón estará especializado en este trabajo.

La tubería de la bomba de hormigonado, se apoyará sobre caballetes, arriostrándose las partes susceptibles de movimiento.

La manguera terminal de vertido, será gobernada por un mínimo a la vez de dos operarios, para evitar las caídas por movimiento incontrolado de la misma.

Antes del inicio del hormigonado de una determinada superficie (un forjado o losas por ejemplo), se establecerá un camino de tablonos seguro sobre los que apoyarse los operarios que gobiernan el vertido con la manguera.

El hormigonado de pilares y elementos verticales, se ejecutará gobernando la manguera desde castilletes de hormigonado.

El manejo, montaje y desmontaje de la tubería de la bomba de hormigonado, será dirigido por un operario especialista, en evitación de accidentes por "tapones" y "sobre presiones" internas.

Antes de iniciar el bombeo de hormigón se deberá preparar el conducto (engrasar las tuberías) para evitar posibles tapones.

Se revisarán periódicamente los circuitos de aceite de la bomba de hormigonado.

Normas o medidas preventivas tipo de aplicación durante el hormigonado de cimientos (zapatillas, zarpas y riostras):

Se debe tener presente, que la prevención que a continuación se describe, debe ir en coordinación con la prevista durante el movimiento de tierras efectuado en el momento de su puesta en obra.

Antes del inicio del vertido del hormigón, el Capataz (o Encargado), revisará el buen estado de seguridad de las entibaciones.

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

Antes del inicio del hormigonado el Capataz (o Encargado), revisara el buen estado de seguridad de los encofrados en prevención de reventones y derrames.

Se mantendrá una limpieza esmerada durante esta fase. Se eliminarán antes del vertido del hormigón puntas, restos de madera, redondos y alambres.

Se instalarán pasarelas de circulación de personas sobre las zanjas a hormigonar, formadas por un mínimo de tres tablones trabados (60 cm. de anchura).

Se establecerán pasarelas móviles, formadas por un mínimo de tres tablones sobre las zanjas a hormigonar, para facilitar el paso y los movimientos necesarios del personal de ayuda al vertido.

Se establecerán a una distancia mínima de 2 m. (como norma general) fuertes topes de final de recorrido, para los vehículos que deban aproximarse al borde de zanjas (o zapatas) para verter hormigón (Dumper, camión hormigonera).

Siempre que sea posible, el vibrado se efectuará estacionándose el operario en el exterior de la zanja.

Para vibrar el hormigón desde posiciones sobre la cimentación que se hormigona, se establecerán plataformas de trabado móviles, formadas por un mínimo de tres tablones que se dispondrán perpendicularmente al eje de la zanja o zapata.

Normas o medidas preventivas tipo de aplicación durante el hormigonado de muros:

Antes del inicio del vertido del hormigón, el Capataz (o Encargado), revisará el buen estado de seguridad de las entibaciones de contención de tierras de los taludes del vaciado que interesan a la zona de muro que se va a hormigonar, para realizar los refuerzos o saneos que fueran necesarios.

El acceso al trasdós del muro (espacio comprendido entre el encofrado externo y el talud del vaciado), se efectuará mediante escaleras de mano.

No se debe permitir el acceso "escalando el encofrado", por ser una acción insegura.

Antes del inicio del hormigonado, el Capataz (o Encargado), revisará el buen estado de seguridad de los encofrados en prevención de reventones y derrames.

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

Antes del inicio del hormigonado, y como remate de los trabajos de encofrado, se habrá construido la plataforma de trabajo de coronación del muro desde la que ayudará a las labores de vertido y vibrado.

La plataforma de coronación de encofrado para vertido y vibrado, que se establecerá a todo lo largo del muro; tendrá las siguientes dimensiones:

- Longitud: la del muro.
- Anchura: sesenta centímetros, (3 tablonos mínimo).
- Sustentación: jabalcones sobre el encofrado.
- Protección: barandillas de 90 cm. de altura formada por pasamanos, listón intermedio y rodapié de 15 cm.
- Acceso: mediante escalera de mano reglamentaria (ver el apartado dedicado a las– escaleras de mano). Se establecerán a una distancia mínima de 2 m. (como norma general), fuertes topes de final de recorrido, para los vehículos que deban aproximarse al borde de los taludes del vaciado, para verter el hormigón (Dumper, camión, hormigonera).

El vertido del hormigón en el interior del encofrado se hará repartiéndolo uniformemente a lo largo del mismo, por tongadas regulares, en evitación de sobrecargas puntuales que puedan deformar o reventar el encofrado. El desencofrado del trasdós del muro (zona comprendida entre éste y el talud del vaciado) se efectuará, lo más rápidamente posible, para no alterar la entibación si la hubiese, o la estabilidad del talud natural.

Normas o medidas preventivas de aplicación durante el hormigonado de pilares y jácenas:

Antes del inicio del vertido del hormigón, el Capataz (o el encargado), revisará el buen estado de la seguridad de los encofrados, en prevención de accidentes por reventones o derrames.

Antes del inicio del hormigonado, se revisará la correcta disposición y estado de las redes de protección de los trabajos de estructura.

No se debe permitir, bajo ningún concepto, trepar por los encofrados de los pilares o permanecer en equilibrio sobre los mimos.

Se vigilará el buen comportamiento de los encofrados durante el vertido del hormigón, paralizándolos en el momento que se detecten fallos. No se reanudará el vertido hasta restablecer la estabilidad mermada.

El hormigonado y vibrado del hormigón de pilares, se realizará desde "castilletes de hormigonado".

El hormigonado y vibrado del hormigón de jácenas (o vigas), se realizará desde andamios metálicos modulares o andamios sobre borriquetas reglamentarias, construidas al efecto.

La cadena de cierre del acceso de la "torreta o castillete de hormigonado" permanecerá amarrada, cerrando el conjunto siempre que sobre la plataforma exista algún operario.

Se revisará el buen estado de los huecos en el forjado, reinstalando las "tapas" que falten y clavando las sueltas, diariamente.

Se revisará el buen estado de las viseras de protección contra caída de objetos, solucionándose los deterioros diariamente.

Se esmerará el orden y limpieza durante esta fase. El barrido de puntas, clavos y restos de madera y de serrín será diario.

2.1.2.2 Medios auxiliares

2.1.2.2.1 Andamios

Andamios en general.

Los andamios siempre se asegurarán para evitar los movimientos indeseables que pueden hacer perder el equilibrio a los trabajadores.

Antes de subirse a una plataforma andamiada deberá revisarse toda su estructura para evitar las situaciones inestables.

Los tramos verticales (módulos o pies derechos), de los andamios se apoyarán sobre tablones de reparto de cargas.

Las plataformas de trabajo, ubicadas a más de 2,00 m de altura, poseerán barandillas perimetrales completas de 90 cm de altura, formadas por pasamanos, barra o intermedio o rodapiés, o bien una red de seguridad tensa que cubra los 90 cm que deberá cubrir la barandilla.

La distancia de separación de un andamio y el paramento vertical de trabajo no será superior a 30 cm en prevención de caídas.

Los andamios serán capaces de soportar hasta cuatro veces la carga máxima prevista.

Se establecerán a lo largo y ancho de los paramentos verticales "puntos fuertes" de seguridad en los que arriostrar los andamios.

Andamios sobre borriquetas

Las borriquetas siempre se montarán perfectamente niveladas.

Las plataformas de trabajo se anclarán perfectamente a las borriquetas, en evitación de balanceos.

Las plataformas de trabajo no sobresaldrán más de 40 cm para evitar el riesgo de vuelcos.

Las borriquetas no estarán separadas a ejes entre sí más de 2,5 m para evitar las grandes flechas.

Las plataformas de trabajo sobre borriquetas tendrán una anchura mínima de 60 cm (3 tablones trabados entre sí), y el grosor del tablón será como mínimo de 7 cm.

Los andamios se formarán sobre un mínimo de dos borriquetas. No se sustituirán por bidones, pilas de materiales y similares.

Las borriquetas metálicas de sistema de apertura de cierre o tijera, estarán dotadas de cadenillas limitadoras de la apertura máxima, para garantizar su estabilidad. Sobre los andamios de borriquetas sólo se mantendrá el material estrictamente necesario y repartido uniformemente por la plataforma de trabajo.

2.1.2.2 Escalera de mano

No se utilizarán escaleras de mano para salvar alturas superiores a 5 m.

Las escaleras de mano estarán dotadas en su extremo inferior de zapatas antideslizantes de Seguridad.

Las escaleras de mano a utilizar estarán firmemente amarradas en su extremo superior al objeto o estructura al que den acceso.

Las escaleras de mano sobrepasarán en 0,90 m la altura a salvar. Esta cota se medirá en vertical desde el plano de desembarco, al extremo superior del larguero.

No se transportarán pesos a mano (o a hombro), iguales o superiores a 25 kg, sobre las escaleras de mano.

2.1.2.2.3 Puntales

Las hileras de puntales se dispondrán sobre durmientes de madera (tablones), nivelados y aplomados en la dirección exacta en la que deban trabajar.

El reparto de la carga sobre las superficies apuntaladas se realizará uniformemente repartido.

2.1.2.2.4 Pasillo de seguridad

Podrán realizarse a base de tablones firmemente sujetos al terreno y cubierta cuajada de tablones. Estos elementos también podrán ser metálicos (los pórticos a base de tubo de perfiles y la cubierta de chapa).

Serán capaces de soportar el impacto de los objetos que se prevea puedan caer, pudiendo colocar elementos amortiguadores sobre la cubierta (sacos, capa de arena, etc.).

2.1.2.3 Maquinaria

2.1.2.3.1 Maquinaria para el movimiento de tierras

No se permanecerá o trabajará dentro del radio de acción de la maquinaria para el movimiento de tierras para evitar riesgos de atropello.

Si se produjese un contacto con líneas eléctricas con tren de rodadura de neumáticos, el maquinista permanecerá inmóvil en su puesto y solicitará ayuda. Antes de realizar ninguna acción se inspeccionará el tren de neumáticos con el fin de detectar la posibilidad de puente eléctrico con el terreno; de ser posible el salto sin riesgo de contacto eléctrico, el maquinista saltará fuera de la máquina sin tocar a la vez la máquina y el terreno.

No se transportará personas sobre las máquinas para el movimiento de tierras, para evitar riesgos de caídas y atropellos.

Se instalarán topes de seguridad de fin de recorrido, ante la coronación de los taludes a los que debe aproximarse la maquinaria empleada en el movimiento de tierras.

Estos topes se podrán realizar con un par de tablones embridados, fijados al terreno por medio de redondos hincados al mismo, o de otra forma eficaz.

2.1.2.3.2 Grúa

Los cables de sustentación de cargas que presenten un 10% de hilos rotos, serán sustituidos de inmediato.

Los ganchos de acero serán normalizados, con rótulo de carga máxima admisible, y dotados de pestillo de seguridad.

No se suspenderá o transportará a personas mediante el gancho de la grúa torre.

En presencia de tormenta, con riesgo de descarga eléctrica, se paralizarán los trabajos con la grúa torre, dejándola fuera de servicio, hasta pasado el riesgo.

Al finalizar la jornada, se izará el gancho libre de cargas a tope junto al mástil, se dejará la pluma en posición de veleta, se pondrán los mandos a cero y se abrirán los seccionadores del mando eléctrico de la máquina (desconectar la energía eléctrica), desconectando previamente el suministro eléctrico de la grúa en el cuadro general de la obra.

Se paralizarán los trabajos con la grúa torre, por criterios de seguridad, cuando las labores deban realizarse bajo régimen de vientos iguales o superiores a 60 km/h.

2.1.2.3.3 Camión grúa

Antes de iniciar las maniobras de carga se instalarán los calzos inmovilizadores en las cuatro ruedas y los gatos estabilizadores.

Las maniobras de carga y descarga serán dirigidas por un especialista en prevención de los riesgos por maniobras incorrectas.

Los ganchos de cuelgue estarán dotados de pestillos de seguridad.

Se prohíbe expresamente sobrepasar la carga máxima admisible fijada por el fabricante del camión en función de la extensión del brazo-grúa.

El gruista tendrá en todo momento a la vista la carga suspendida.

Las cargas en suspensión, para evitar golpes y balanceos, se guiarán mediante cabos de gobierno.

Se prohíbe la permanencia bajo las cargas en suspensión.

El conductor del camión grúa estará en posesión del certificado de capacitación que acredite su pericia.

2.1.2.3.4 Dobladora mecánica de ferralla

Se efectuará un barrido periódico del entorno de la dobladora de ferralla en prevención de daños por pisadas sobre objetos cortantes o punzantes.

Serán revisadas semanalmente observándose especialmente la buena respuesta de los mandos.

Tendrán conectada a tierra todas sus partes metálicas en prevención del riesgo eléctrico.

La manguera de alimentación eléctrica de la dobladora se llevará hasta esta de forma enterrada para evitar los deterioros por roce y aplastamiento durante el manejo de la ferralla.

Se instalará en torno a la dobladora mecánica de ferralla un entablado de tabla de 5 cm, sobre una capa de gravilla, con una anchura de tres metros en su entorno.

2.1.2.3.5 Rodillo vibrante autopropulsado

Los conductores de los rodillos vibrantes serán operarios de probada destreza en el manejo de estas máquinas, en prevención de los riesgos por impericia.

La compactadora a utilizar en esta obra estará dotada de cabina antivuelco y antiimpacto.

La compactadora a utilizar en esta obra, estará dotada de un botiquín de primeros auxilios, ubicado de forma resguardada para conservarlo limpio.

Se prohíbe expresamente el abandono del rodillo vibrante con el motor en marcha.

Se prohíbe el transporte de personas ajenas a la conducción sobre el rodillo vibrante.

Se prohíbe la permanencia de operarios en el tajo de rodillos vibrantes, en prevención de atropellos.

2.1.2.4 Protección contra incendios

Se utilizarán extintores de polvo polivalente, revisándose periódicamente.

2.1.2.5 Riegos

Las pistas para tráfico de obra se regarán convenientemente para evitar producción de polvo.

2.2 SERVICIOS DE PROTECCIÓN

2.2.1 Servicio técnico de seguridad y salud

La obra contará con asesoramiento técnico en prevención de riesgos profesionales a través del Servicio Central de Seguridad y Salud del Contratista adjudicatario de las obras.

2.2.2 Servicio médico

La empresa constructora dispondrá de un Servicio Médico de Empresa propio o mancomunado.

La obra contará con asesoramiento técnico en prevención de riesgos profesionales a través del Servicio Central de Seguridad e Higiene del Contratista adjudicatario de las obras.

2.3 OBLIGACIONES DEL COORDINADOR EN MATERIA DE SEGURIDAD Y SALUD DURANTE LA EJECUCIÓN DE LA OBRA

El coordinador en materia de Seguridad y Salud durante la ejecución de la obra deberá desarrollar las siguientes funciones:

Coordinar la aplicación de los principios generales de prevención y seguridad:

Al tomar las decisiones técnicas y de organización con el fin de planificar los distintos trabajos o fases de trabajo que vayan a desarrollarse simultánea o sucesivamente.

Al estimar la duración requerida para la ejecución de estos distintos trabajos o fases de trabajo.

Coordinar las actividades de la obra para garantizar que los contratistas y, en su caso, los subcontratistas y los trabajadores autónomos apliquen de manera coherente y responsable los principios de la acción preventiva, que se recogen en el artículo 15 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales durante la ejecución de la obra y, en particular, en las tareas o actividades a que se refiere el artículo 10 del Real Decreto 1627/1997.

Aprobar el plan de seguridad y salud elaborado por el contratista, y en su caso, las modificaciones introducidas en el mismo. Conforme a lo dispuesto en el último párrafo del apartado 2, del artículo 7, la dirección facultativa asumirá esta función cuando no fuera necesaria la designación de coordinador.

Organizar la coordinación de actividades empresariales prevista en el artículo 24 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales.

Coordinar las acciones y funciones de control de aplicación correcta de los métodos de trabajo.

Adoptar las medidas necesarias para que solo las personas autorizadas puedan acceder a la obra. La dirección facultativa asumirá esta función cuando no fuera necesaria la designación del coordinador.

2.4 OBLIGACIONES DE LOS CONTRATISTAS Y SUBCONTRATISTAS

Los contratistas y subcontratistas estarán obligados a:

- Aplicar los principios de la acción preventiva que se recogen en el artículo 15 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, en particular al desarrollar las tareas o actividades indicadas en el artículo 10 del Real Decreto 1627/1997.
- Cumplir y hacer cumplir a su personal lo establecido en el plan de Seguridad y Salud al que se refiere el artículo 7.
- Cumplir la normativa en materia de prevención de riesgos laborales, teniendo en cuenta, en su caso, las obligaciones sobre coordinación de actividades empresariales previstas en el artículo 24 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, así como cumplir las disposiciones mínimas establecidas en el anexo IV del Real Decreto 1627/1997, durante la ejecución de la Obra.
- Informar y proporcionar las instrucciones adecuadas a los trabajadores autónomos sobre todas las medidas que hayan de adoptarse en lo que se refiere a su seguridad y salud en la obra.

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

- Atender las indicaciones y cumplir las instrucciones y cumplir las instrucciones del Coordinador en materia de Seguridad y de Salud durante la ejecución de la obra o, en su caso, de la dirección facultativa.
- Los Contratistas y los Subcontratistas serán responsables de la ejecución correcta de las medidas preventivas fijadas en el plan de Seguridad y Salud en lo relativo a las obligaciones que les correspondan a ellos directamente o, en su caso, a los trabajadores autónomos por ellos contratados.
- Además, los Contratistas y los Subcontratistas responderán solidariamente de las consecuencias que se deriven del incumplimiento de las medidas previstas en el plan, en los términos del apartado 2 del artículo 42 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales.
- Las responsabilidades de los coordinadores, de la dirección facultativa y del promotor, no eximirán de sus responsabilidades a los Contratistas y a los Subcontratistas

2.5 OBLIGACIONES DE LOS TRABAJADORES AUTÓNOMOS

Los trabajadores autónomos estarán obligados a:

- Aplicar los principios de la acción preventiva que se recoge en el artículo 15 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, en particular al desarrollar las tareas o actividades indicadas en el artículo 10 del presente Real Decreto.
- Cumplir las disposiciones mínimas, de Seguridad y Salud establecidas en el anexo IV del Real Decreto 1627/1997, de 24 de Octubre, durante la ejecución de la Obra.
- Cumplir las obligaciones en materia de prevención de riesgos que establece para los trabajadores el artículo 29, apartados 1 y 2, de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales.
- Ajustar su actuación en la Obra conforme a los deberes de coordinación de actividades empresariales establecidos en el artículo 242 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, participando en particular en cualquier medida de actuación coordinada que se hubiera establecido.
- Utilizar los equipos de trabajo que se ajusten a lo dispuesto en el 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. –

Elegir y utilizar equipos de protección individual en los términos previstos en el 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. – Atender las indicaciones y cumplir las instrucciones del Coordinador en materia de Seguridad y Salud durante la ejecución de la Obra o, en su caso, de la dirección facultativa.

Los trabajadores autónomos deberán cumplir lo establecido en el plan de Seguridad y Salud.

2.6 INSTALACIONES MÉDICAS

Se habilitará un local para botiquín, debidamente dotado, de acuerdo con las necesidades de la obra. El botiquín mantendrá permanentemente la dotación precisa reponiéndose a este fin de forma continuada los medios consumidos.

2.7 INSTALACIONES DE HIGIENE Y BIENESTAR

Las instalaciones provisionales de obra se adaptarán en lo relativo a elementos, dimensiones y características a lo especificado en los Artículos 15 y 16 del REAL DECRETO 1627/1997, de 24 de Octubre de Seguridad y Salud y 335, 336 y 337 de la Ordenanza Laboral de la Construcción, Vidrio y Cerámica.

2.8 PARALIZACIÓN DE LOS TRABAJOS

– Sin perjuicio de lo previsto en los apartados 2 y 3 del artículo 21 y en el artículo 44 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, cuando el Coordinador en materia de Seguridad y Salud durante la ejecución de la obra o cualquier otra persona integrada en la dirección facultativa observase incumplimiento de las medidas de Seguridad y Salud, advertirá al Contratista de ello, dejando constancia de tal incumplimiento en el libro de incidencias, cuando esto exista, de acuerdo con lo dispuesto en el apartado 1 del artículo 13 y quedar facultado para, en circunstancia de riesgo grave e inminente para la seguridad y la salud de los trabajadores disponer la paralización de los trabajos o, en su caso, la totalidad de la obra.

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

- En el supuesto previsto en el apartado anterior, la persona que hubiera ordenado la paralización deberá dar cuenta a los efectos oportunos a la Inspección de Trabajo y Seguridad Social correspondiente, a los Contratistas afectados por la paralización, así como a los representantes de los trabajadores de éstos.
- Asimismo, lo dispuesto en este artículo se entiende sin perjuicio de la normativa sobre contratos de Administraciones públicas relativa al cumplimiento de plazos y suspensión de obras.

ANEXO N°3

ESPECIFICACIONES

TÉCNICAS

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

ÍNDICE

1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS	1
1.1 TUBERÍAS DE PVC ORIENTADO	1
1.2 ARQUETAS	2
1.3 VÁLVULAS DE ASIENTO	2
1.4 BOMBAS DE IMPULSIÓN FANGOS Y DE AGUAS RESIDUALES.	3
1.5 DIFUSORES DE MEMBRANA.....	4
1.6 EQUIPOS INSTALADOS EN LA PLANTA	5
2. CATÁLOGOS	6
2.1 TUBERÍAS DE MOLECOR	6
2.2 REDUCCIONES EE MOLECOR	7
2.3 CODSO 90° EE MOLECOR	7
2.4 VÁLVULAS DE ASIENTO VICALSA	8
2.5 BOMBAS DE IMPULSIÓN DE FANGOS DE RECIRCULACIÓN	
GRUNDFOS	9
2.6 BOMBAS DE IMPULSIÓN DE AGUAS RESIDUALES	
GRUNDFOS.....	10

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS

A continuación, se muestran los diferentes equipos que forman parte del diseño con sus características:

1.1 TUBERÍAS DE PVC ORIENTADO

Las tuberías de PVC Orientado empleadas para el transporte de agua residual, son de la marca Molecor.

Las características que presenta esta marca son las siguientes:

- Diámetros nominales (mm): 250,200,160,110
- Presión nominal 12,5 bar
- Densidad: 1,35-1,46 kg/dm³
- Normativas aplicables: UNE17176-2019 , ISO 16422:2014
- Color: azul/morado
- Temperatura de trabajo :20°C

Los accesorios usados en las tuberías son los siguientes:

- Bridas
 - Uso: conectar las tuberías con los accesorios (válvulas codos, té, reducciones, tapones, etc.)
- Accesorios con enchufe tipo euro
 - Uso: que sirven para realizar desviaciones, derivaciones y reducciones en red.
- Tornillos
 - Tipo: Cabezal hexagonal.
 - Dimensiones DIN 933
 - Suministro DIN 267
 - Protección: cadmio
- Tuercas:
 - Tipo: Cabezal hexagonal
 - Dimensiones: DIN 934
 - Protección: cadmio
- Codo 90° EE
 - Diámetro Nominal (mm): 250,200,160,110

- Presión Nominal: 10/16
- Reducción EE
 - Diámetro Nominal/Diámetro Nominal: 2050/200, 200/160,160/110.
 - Presión Nominal: 10/16

1.2 ARQUETAS

Las arquetas de entrada de agua a las etapas anóxicas son de la marca Adyamar.

Las características que presentan son las siguientes:

- Material de fabricación: Hormigón armado
- Medidas:50x50x50cm
- Peso: 222 kg
- Disponibilidad de fondo
- Espesor: 0,6 cm

Los complementos necesarios para las arquetas son:

- Tapa HA 50x50x50 con cerco y marco metal
 - Material de fabricación: Hormigón armado que incorpora cerco y marco metálico.
 - Dimensiones: 60x60 cm
 - Peso:37kg

1.3 VÁLVULAS DE ASIENTO

Las válvulas de asiento que se emplean para regular el caudal que entra a cada tramo son de la marca Vicalsa.

Las características que presenta son:

- Tipo: Válvula de asiento, retención y cierre
- Paso recto
- Material: Acero fundido GS-C25 con bridas
- Guarniciones en Bronce/Latón
- Distancia entre bridas DIN-3202 (F4)
- Norma calidad DIN 17245

1.4 BOMBAS DE IMPULSIÓN DE FANGOS Y DE AGUAS RESIDUALES

Las bombas de impulsión de fangos de recirculación que se emplean son de la marca Grundfos.

Las características que presenta son:

- Serie: SL1.100.150.40.4.51D.C
- Caudal máximo: 232 m³/d
- Altura máxima :11,2 m
- Tipo de impulsor: S-TUBE
- Diámetro máximo de las partículas: 100 mm
- Carcasa de la bomba: Hierro fundido EN 5.1301 EN-GJL-250
- Impulsor: Fundición EN 5.1301EN-GJL-250
- Motor: Hierro fundido EN 1561 EN-GJL-250
- Temperatura máx. ambiente: 40°C
- Normativa de brida: DIN
- Entrada de bomba DN 150
- Salida de bomba: DN 150
- Presión nominal: PN 10
- Potencia de entrada-P1 : 4,8 kW
- Potencia nominal-P2: 4 kW
- Frecuencia de red: 50Hz
- Arranques máx. por hora: 20
- Intensidad nominal: 10.1-10.1A
- Consumo de intensidad máxima 21A
- Velocidad nominal: 1464 rpm
- Eficacia del motor a carga total:87,4 %
- Peso neto: 153 kg

Las bombas de impulsión de agua residual que se emplean son de la marca Grundfos.

Las características que presenta son:

- Serie: SE1.110.200.220.4.52M.C.N.51.D.A
- Caudal máximo: 500 m³/h

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

- Altura máxima: 23 m
 - Tipo de impulsor: S-TUBE
 - Diámetro máximo de las partículas: 110mm
 - Camisa de refrigeración: Y
 - Carcasa de la bomba: Hierro fundido EN1561 EN-GJL-250
 - Temperatura máxima ambiente: 40°C
 - Entrada de bomba: DN 200
 - Salida bomba: DN 200
 - Presión nominal PN 10
 - Profundidad máxima de instalación 20 m
 - Potencia de entrada -P1: 25kW
 - Potencia nominal- P2 22kW
 - Consumo de intensidad máxima 43A
 - Velocidad nominal: 1476 rpm
 - Eficacia del motor a carga total: 88%
- Peso neto :363 kg

1.5 DIFUSORES DE MEMBRANA

Los difusores de membrana empleados para la aireación de las etapas aerobias, son de la marca Xylem.

Presentan las características siguientes:

- Modelo: Sanitaire Silver Series II
- Tipo de difusores: Burbuja fina
- Caudal de aire por difusor: 0,8-7 Nm³/h
- Eficiencia de transferencia de oxígeno estándar (SOTE): Aproximadamente 6,5% por metro de inmersión
- Eficiencia de aireación estándar (SAE, Standard aeration efficiency): 2,5–6 kg O₂/kWh.
- Diámetro: 229 mm
- Componentes parillas:
 - Tubo de descenso: Acero inoxidable AISI 304 o 316

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

- Colectores Acero: inoxidable, cloruro de polivinilo (PVC) de fórmula especial para evitar la degradación por rayos ultravioleta.
- Cabezales de distribución: PVC o CPVC para temperaturas altas
- Soportes y pernos de anclaje: Acero inoxidable AISI 304 o 316
- Empacaduras: EPDM
- Materiales
 - Material del disco: EPDM de alto grado, especialmente tratado.

1.6 EQUIPOS INSTALADOS EN LA PLANTA

A parte de los equipos nombrados anteriormente, en la planta se encuentran instalados otros que son de gran importancia para controlar que el tratamiento biológico funciona correctamente. Estos equipos son:

- Medidor de caudal de agua bruta tipo Parshall con indicador-registrador (IR) y totalizador (To) en panel
- Medidor de caudal de agua bruta magnético en tubería para control del influente de entrada a la línea biológica.
- Equipo para la medida del pH
- Medidores de oxígeno disuelto en el reactor biológico.
- Medidores, exceso de fangos biológicos.
- Equipo para la medida en continuo de la temperatura
- Equipo de medida en continuo del nivel de cal.

2. CATÁLOGOS

2.1 TUBERÍAS MOLECOR

TOM® PVC-O 500										
Presión Nominal (bar)		PN12,5			PN16		PN20		PN25	
Diámetro Nominal (DN)	Diámetro Exterior (DE)		Diámetro Interior (DI)	Espesor Mínimo						
	min.	max.	medio	min.	medio	min.	medio	min.	medio	min.
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
90	90,0	90,3	84,8	1,6	84,3	2,0	84,3	2,5	83,0	3,1
110	110,0	110,4	103,6	2,0	103,1	2,4	103,0	3,1	100,8	3,8
125	125,0	125,4	117,8	2,2	117,8	2,8	117,1	3,5	115,3	4,3
140	140,0	140,5	132,3	2,5	132,3	3,1	131,1	3,9	129,1	4,8
160	160,0	160,5	152,1	2,8	151,2	3,5	149,8	4,4	147,5	5,5
200	200,0	200,6	190,1	3,5	189,0	4,4	187,3	5,5	183,3	6,9
225	225,0	225,7	213,9	4,0	212,6	5,0	210,7	6,2	207,5	7,7
250	250,0	250,8	237,6	4,4	236,3	5,5	234,1	6,9	229,1	8,6
315	315,0	316,0	299,4	5,5	297,7	6,9	295,0	8,7	288,6	10,8
355	355,0	356,1	337,4	6,2	335,5	7,8	332,5	9,8	325,3	12,2
400	400,0	401,2	380,2	7,0	378,0	8,8	374,6	11,0	366,5	13,7
450	450,0	451,4	427,7	7,9	425,3	9,9	421,4	12,4	412,3	15,4
500	500,0	501,5	475,2	8,8	472,5	11,0	468,2	13,7	461,1	17,1
630	630,0	631,9	598,8	11,0	595,4	13,8	590,0	17,3	581,0	21,6
710	710,0	712,0	674,8	12,4	671,0	15,4	664,9	19,2	654,7	24,4
800	800,0	802,0	760,4	14,0	756,1	17,4	749,2	21,6	733,0	27,4
900	900,0	902,7	855,4	15,7	850,6	19,6	839,5	24,3	824,1	30,9
1000	1000,0	1003,0	950,5	17,5	945,1	21,7	932,8	27,0	915,6	34,3
1100⁽¹⁾	1100,0	1103,3	1045,5	-	1039,6	-	1026,1	-	1007,2	-
1200⁽¹⁾	1200,0	1203,6	1140,6	21,1	1134,1	26,2	1119,4	32,4	1098,8	41,4

Las tuberías de PVC-O TOM® se suministran en longitudes totales (incluyendo la longitud marcado tope) de 5,95 metros.

Los diámetros interiores pueden estar sujetos a variación según tolerancias de fabricación.

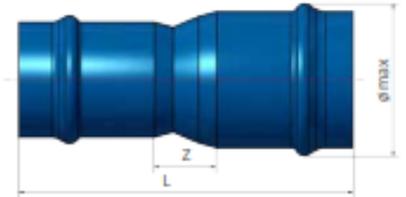
(1) Artículos bajo pedido. Consulte plazo de entrega. Para otros diámetros y presiones nominales, consultar.

DN1100: No contemplado en las normas ISO 16422:2014 y EN 17176:2019.

DN1200: No contemplado en norma ISO 16422:2014, fabricado según especificaciones de norma EN 17176:2019.

2.2 REDUCCIONES EE MOLECOR

DN/DN	PN	Referencia	ømax	L (mm)	Z (mm)	Peso (Kg)
110 / 90	10/16	F110R09016B	140	385	55	0,78
125 / 110	10/16	F125R11016B	155	450	80	1,17
140 / 110	10/16	F140R11016B	175	465	90	1,54
160 / 110	10/16	F160R11016B	200	480	105	1,95
160 / 140	10/16	F160R14016B	200	455	60	1,78
200 / 160	10/16	F200R16016B	245	525	100	3,33
225 / 160	10/16	F225R16016B	270	585	195	4,98
225 / 200	10/16	F225R20016B	270	510	80	4,31
250 / 200	10/16	F250R20016B	305	585	120	5,95
315 / 250	10/16	F315R25016B	375	690	155	11,05
400 / 315	10/16	F400R31516B	475	790	155	19,39

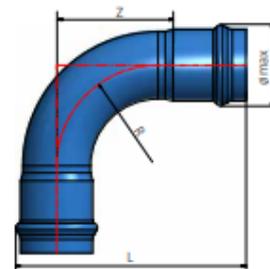


2.3 CODOS 90°EE MOLECOR

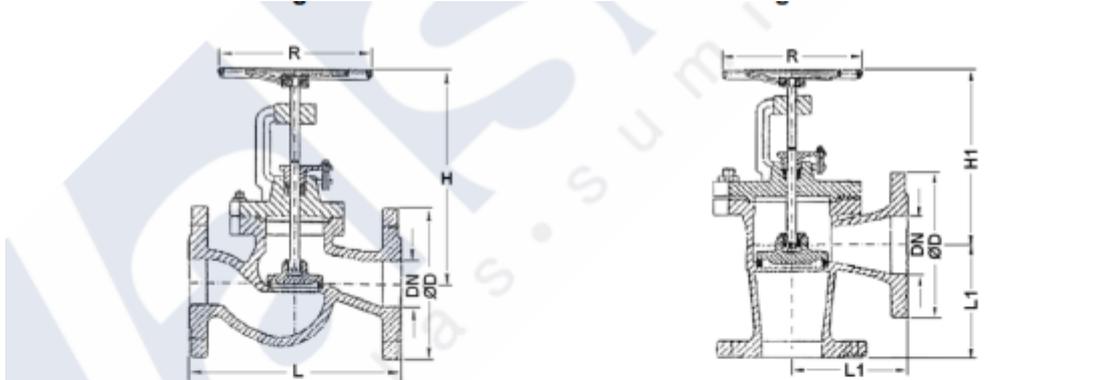
DN	PN	Referencia	ømax	L (mm)	Z (mm)	Radio (mm)	Peso (Kg)
110	10/16	F110C9016B	143	450	200	165	1,35
125*	10/16	F125C9016B	155	490	225	187,5	1,94
140*	10/16	F140C9016B	175	535	250	210	2,62
160	10/16	F160C9016B	198	565	275	240	3,52
200	10/16	F200C9016B	244	680	345	300	6,56
225	10/16	F225C9016B	270	750	370	340	9,30
250	10/16	F250C9016B	305	800	430	375	12,10
315	10/16	F315C9016B	375	850	380	315	19,16
400*	10/16	F400C9016B	472	900	375	300	32,64

* Disponible bajo petición

• 20 •



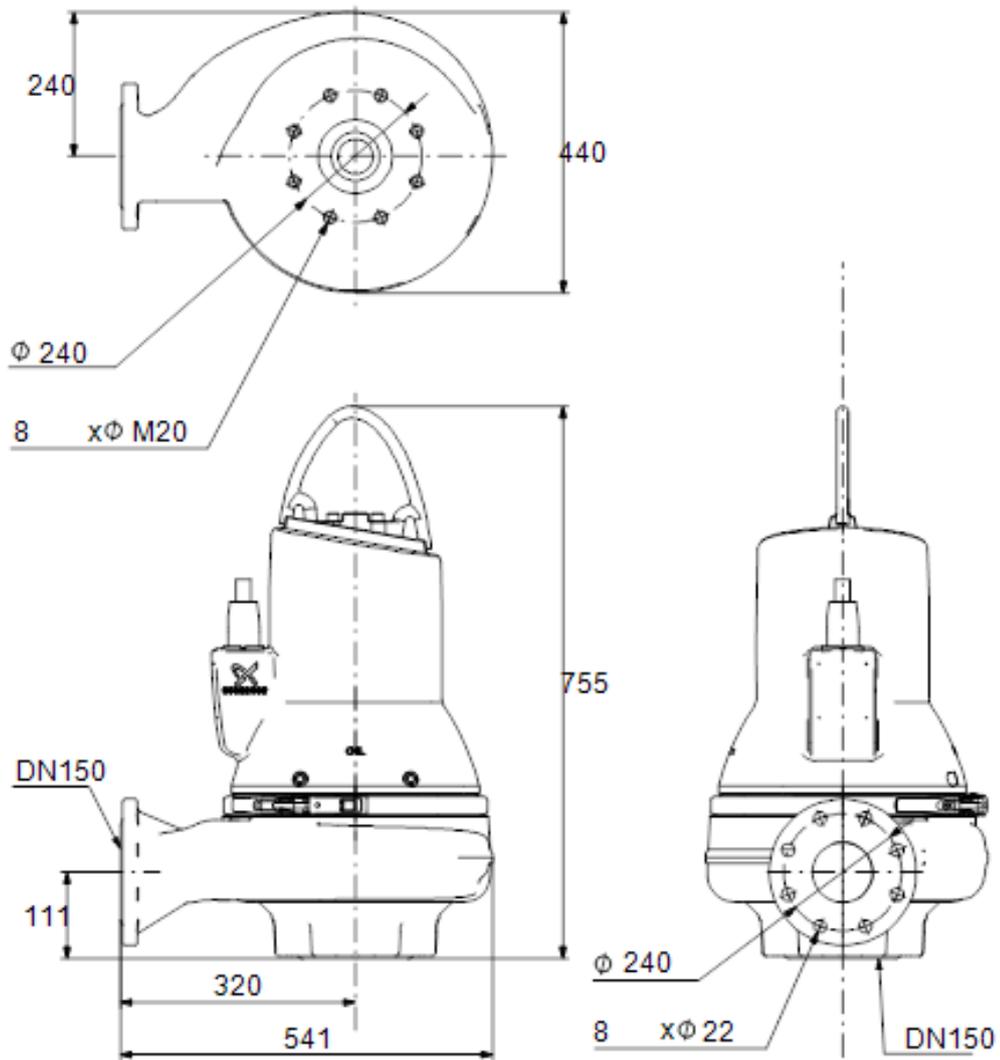
2.4 VÁLVULAS DE ASIENTO VICALSA



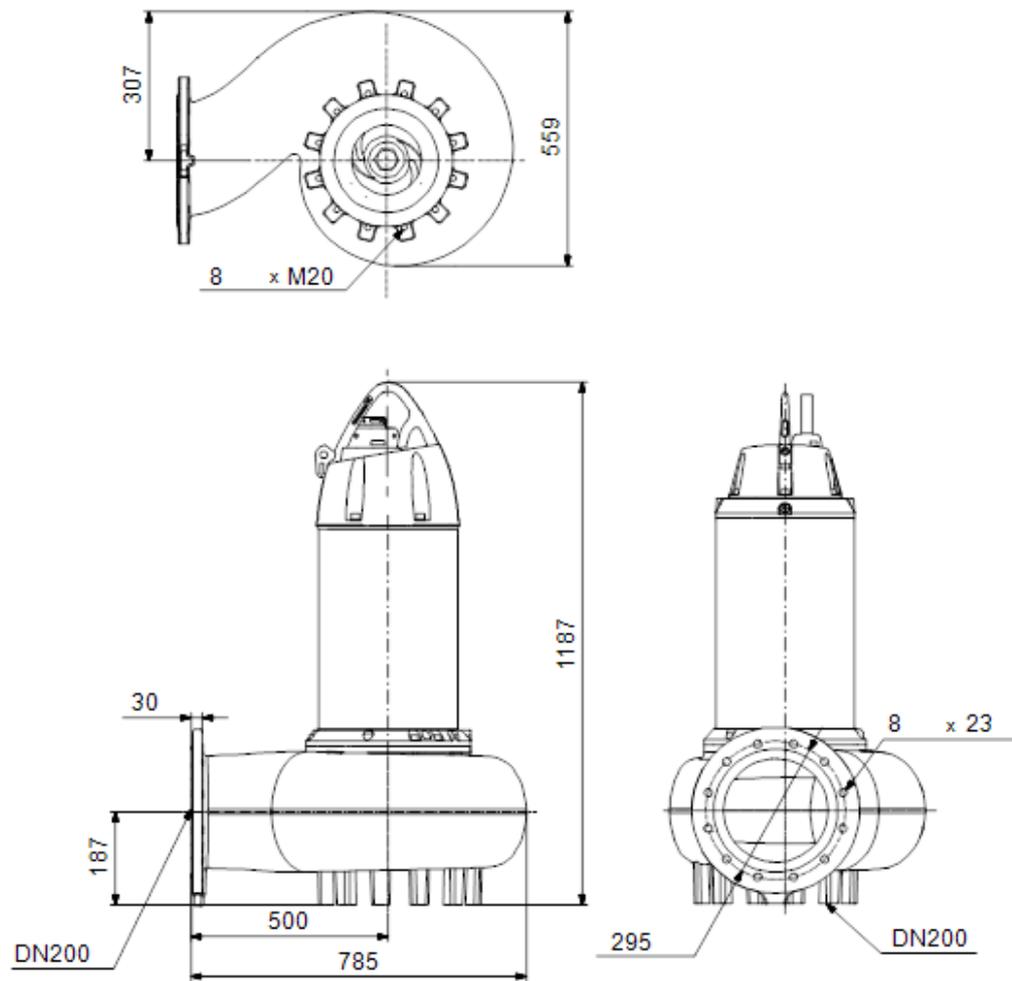
DN	L	H	L1	H1	D	K	z x d	R	Kg	Kg
Diámetro nominal	G-300 GA-300	G-300 GA-300	G-310 GA-310	G-310 GA-310	Diámetro ext. de brida	Circulo de taladros PN-10	N° de taladros x diámetro PN-10	Diámetro del volante	G-300 GA-300	G-310 GA-310
15	130	172	90	155	95	66	4x14	100	3,3	5,0
20	150	178	95	163	105	75	4x14	100	3,8	5,5
25	160	192	100	185	115	85	4x14	120	5,4	7,5
32	180	210	105	212	140	100	4x18	140	8,0	9,0
40	200	225	115	212	150	110	4x18	140	9,4	11,0
50	230	245	125	224	165	125	4x18	160	13,6	14,0
65	290	282	145	274	185	145	4x18	160	18,0	20,0
80	310	337	155	340	200	160	8x18	240	31,0	34,0
100	350	378	175	377	220	180	8x18	240	40,0	42,0
125	400	438	200	422	250	210	8x18	280	62,0	61,0
150	480	470	225	485	285	240	8x22	320	86,0	85,0
200	600	570	275	574	340	295	8x22	360	153,0	134,0
250	730	691	325	691	395	350	12x22	400	207,0	200,0
300	850	760	375	550	445	400	12x22	520	277,0	247,0

Dimensiones aproximadas. Sujeto a modificación sin previo aviso.

2.4 BOMBAS DE IMPULSIÓN DE FANGOS GRUNDFOS

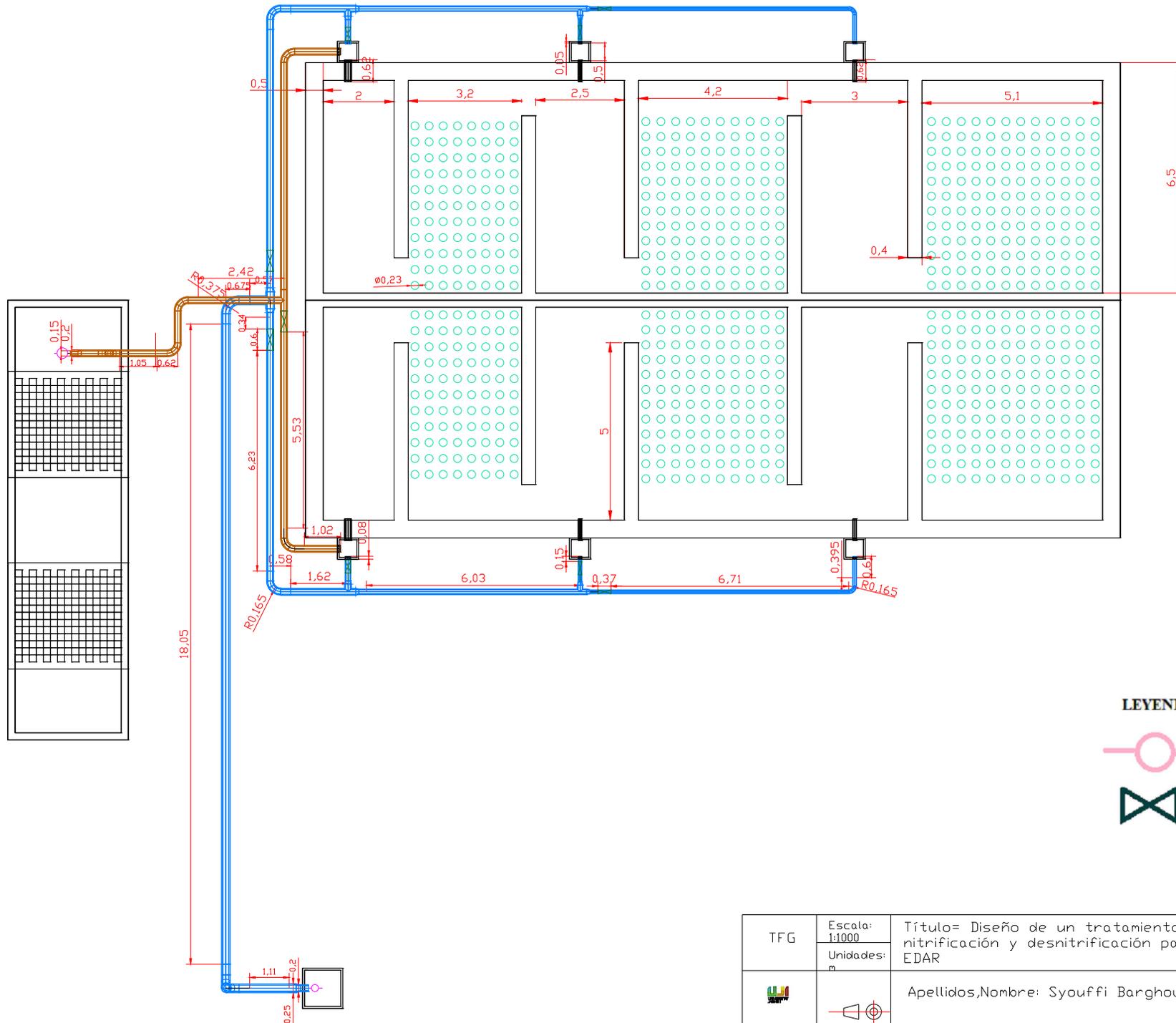


2.5 BOMBAS DE IMPULSIÓN DE AGUA RESIDUAL GRUNDFOS



3. PLANOS

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR



LEYENDA



TFG	Escala: 1:1000	Título= Diseño de un tratamiento de nitrificación y desnitrificación para una EDAR
	Unidades: m	
		Apellidos,Nombre: Syouffi Barghout, Nura

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

4. PLIEGO DE CONDICIONES

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

ÍNDICE

1. PLIEGO DE CONDICIONES.....	1
1.1 DISPOSICIONES GENERALES.....	1
1.2 CONTRATO DE OBRA.....	1
1.3 DOCUMENTACIÓN DEL CONTRATO DE OBRA.....	1
1.4 FORMALIZACIÓN DEL CONTRATO DE OBRA.....	2
1.5 RESCISIÓN DEL CONTRATO	2
1.6 DIRECCIÓN DE LAS OBRAS	2
2. PLIEGO DE CONDICIONES FACULTATIVAS.....	3
2.1 PROMOTOR.....	3
2.2 PROYECTISTA	4
2.3 CONTRATISTA.....	6
3. PLIEGO DE CONDICIONES ECONÓMICAS.....	8
3.1 CONTRATO DE OBRA	8
3.2 FIANZAS	9
3.3 EJECUCIÓN DE TRABAJOS CON CARGO A LA FIANZA	9
3.4 DEVOLUCIÓN DE LAS FIANZAS.....	9
3.5 DEVOLUCIÓN DE LA FIANZA EN EL CASO DE EFECTUARSE RECEPCIONES PARCIALES.....	9
3.6 PRECIOS	9
3.7 PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN DE MATERIAL	9
3.8 RECLAMACIÓN DE AUMENTO DE PRECIOS	10
3.9 REVISIÓN DE LOS PRECIO CONTRATADOS	10
3.10 ACOPIO DE LOS MATERIALES	10
3.11 VALORACIÓN Y ABONO DE LOS TRABAJOS	10
3.11.1 Forma y plazos de abono de las obras	10
3.11.2 Relaciones valoradas y certificadas	11
3.12 INDEMNIZACIONES MÚTUAS.....	11
3.12.1 Indemnización por retraso del plazo de terminación de las obras.....	11
3.12.2 Demora de los pagos por parte del promotor.....	11
3.13 PLAZO DE EJECUCIÓN: PLANNING DE OBRA.....	11
3.14 LIQUIDACIÓN ECONÓMICA DE LAS OBRAS	12

3.15	LIQUIDACIÓN FINAL DE LAS OBRAS	12
4.	PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS	13
4.1	CONDICIONES TÉCNICAS GENERALES	13
4.2	CONDICIONES TÉCNICAS PARTICULARES	14
4.2.1	Conducciones de PVC	14
4.2.2	Accesorios.....	14
4.2.3	Bombas	14
4.2.4	Hormigones	14

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

1. PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES

1.1 DISPOSICIONES GENERALES

El presente Pliego de Condiciones, tiene por objeto regular la ejecución de la obra bajo las normas establecidas y las condiciones facultativas, económicas y técnicas que rigen los trabajos de esta obra. Para ello será necesario definir todos los aspectos que comprende esta obra, y establecer las condiciones necesarias que deben cumplir todos los equipos y maquinarias que se vayan a instalar en este proyecto. Además, será necesario definir todos los individuos que intervienen y la relación entre ellos de acuerdo con la legislación.

1.2 CONTRATO DE OBRA

El presente contrato de obra, tiene por objetivo modificar el tratamiento biológico presente actualmente en la planta añadiendo tabiques que separen cada reactor presente en tres etapas cada una de las cuales formada por una zona anóxica seguida de una zona aerobia, de tal manera que se produzca un tratamiento de nitrificación y desnitrificación capaz de disminuir la concentración de nitrógenos hasta los valores límites de emisión. Se recomienda la contratación de la ejecución de las obras por unidades de obra, con arreglo a los documentos del proyecto y en cifras fijas. El director de Obra ofrecerá la documentación necesaria para su realización.

La ejecución de estas obras y el cumplimiento de todas las condiciones plasmadas en el Pliego o en el Contrato será deber del Contratista.

El Contratista será el único responsable, de cualquier error cometido durante la construcción, y no tiene derecho a indemnizaciones en el caso de mayor precio que pudiese costarle la obra.

1.3 DOCUMENTACIÓN DEL CONTRATO DE OBRA

A continuación, se enumeran en orden de prioridad, los documentos que componen el contrato de obra a fin de evitar posibles interpretaciones:

- Las condiciones fijadas en el propio contrato de empresa.
- El presente Pliego de Condiciones.
- Documentación gráfica y escrita del Proyecto: memoria, planos, anexos, mediciones y presupuesto. Si existieran diferentes interpretaciones, prevalecen las especificaciones fijadas en el presente documento.

En caso de interpretación prevalecen las especificaciones literales sobre las gráficas y las cotas sobre las medidas a escala tomadas de los planos

1.4 FORMALIZACIÓN DEL CONTRATO DE OBRA

Los contratos se formalizarán mediante un documento privado, que, en caso de petición por cualquiera de las partes, podrá elevarse a escritura pública.

El contrato de obra deberá de contener:

- La comunicación de la adjudicación
- La copia del recibo de depósito de fianza, en caso de que se haya exigido.
- Un recogido donde se exprese que el Contratista se obliga a cumplir estrictamente el contrato de obra conforme a lo previsto en el Pliego de Condiciones, la Memoria, los Anexos y todos los demás documentos que sirven de base para la realización del proyecto.

1.5 RESCISIÓN DEL CONTRATO

En caso de producirse una rescisión, esta será dirigida al Reglamento General de Contratación para Aplicación de la Ley de Contratos de Estado, por el Pliego de Cláusulas Administrativas Generales y demás disposiciones vigentes. Serán causas suficientes de rescisión las siguientes:

- Muerte o incapacitación del Contratista
- Quiebra del Contratista
- Alteraciones del contrato por modificación del proyecto, variación en las unidades de obra, incumplimiento de contrato o abandono o suspensión de la obra sin causa justificada.

1.6 DIRECCIÓN DE LAS OBRAS

La Administración designará al director de las Obras que será la persona, con titulación de Ingeniero Civil, que será el responsable de vigilar y comprobar que toda la obra se realiza correctamente. Para desempeñar su labor puede contar con colaboradores que desarrollan su labor en función de sus conocimientos y de sus títulos profesionales.

2. PLIEGE DE CONDICIONES FACULTATIVAS

2.1 PROMOTOR

Es la persona física o jurídica, pública o privada, que decide individual o colectivamente promover y financiar con sus propios recursos las obras para sí mismo o para terceros bajo cualquier título. Este asume la iniciativa de este proceso y se hace cargo de todos los gastos que conlleva esta obra. Cuando el promotor es una Administración Pública, se regirán por la legislación de contratos de las Administraciones Públicas, y en caso de no contemplarse en la misma, se rigen por las disposiciones de la LOE.

El promotor tiene las siguientes responsabilidades:

- Poseer un título que te autorice llevar a cabo la obra.
- Facilitar todos los documentos y la información necesaria para redactar el proyecto correspondiente, así como permitir al director de la obra y al contratista realizar modificaciones en caso de que sea necesario para llevar a cabo correctamente el proyecto.
- Elegir a los operarios titulados, formados y capacitados para realizar las obras, cumpliendo las condiciones legalmente exigibles y dentro del plazo concertado.
- Gestionar y hacerse cargo de las perceptivas licencias y demás autorizaciones administrativas procedentes, de conformidad con la normativa aplicable.
- Garantizar los daños que los materiales puedan sufrir, para la adecuada protección de los intereses de los usuarios finales, en las condiciones legalmente establecidas, asumiendo la responsabilidad civil de forma personal e individualizada, tanto por actos propios como por actos de otros agentes por los que, con arreglo a la legislación vigente, se deba responder.
- El Promotor no puede dar orden de comienzo de las obras hasta que el contratista haya redactado su plan de seguridad y haya sido aprobado por el coordinador de materia de seguridad y salud, dejando constancia expresa en el acta de aprobación realizada al efecto.
- Avisar a la autoridad laboral competente haciendo constar los datos de la obra, redactando de acuerdo a lo especificado en el Anexo III del R.D 1627/97. Será necesario exponer una copia del mismo en la obra de forma visible y actualizarlo en caso de que fuera necesario.

- Firmar el acta de recepción final de las obras, una vez concluidas, haciendo constar la aceptación de las obras, que podrá realizarse con o sin reservas y que deberá abarcar la totalidad de las obras o fases completas. En caso de hacer mención expresa a reservas para la recepción, deberán mencionarse de manera detallada las deficiencias y se deberá hacer constar el plazo en que deberán quedar subsanados los defectos observados.
- Entregar al adquirente y usuario inicial, en su caso, el manual de uso y mantenimiento del mismo y demás documentación de obra ejecutada, o cualquier otro documento exigible por las administraciones competentes.

2.2 PROYECTISTA

Es la persona encargada de redactar el proyecto por encargo del promotor y sujeto a la normativa técnica y urbanística correspondiente. De manera coordinada con este agente, podrán redactar parcialmente partes del proyecto o complementarlo otros técnicos.

Cuando el proyecto se complete mediante varios proyectos parciales u otros documentos técnicos según lo previsto en el apartado 2 del artículo 4 de la LOE, cada proyectista asumirá la titularidad de su proyecto.

El proyectista tiene las siguientes responsabilidades:

- Redactar el proyecto por encargo del Promotor, con sujeción a la normativa técnica en vigor y conteniendo toda la documentación necesaria para tramitar tanto la licencia de obra y demás permisos administrativos para ser interpretada y poder ejecutar totalmente la obra, entregando al promotor las copias autorizadas correspondientes, debidamente visadas por su colegio profesional.
- Definir el concepto global del proyecto de ejecución, con su representación gráfica y escrito y calcular las dimensiones de todos los elementos fundamentales de la instalación.
- Definir en el proyecto el emplazamiento de cuartos de máquinas, de contadores, hornacinas, espacios asignados para subida de conductos, reserva de huecos de ventilación, alojamiento de sistemas de telecomunicación y en general, de

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

aquellos elementos necesarios en la instalación para facilitar las determinaciones concretas y especificaciones detalladas que son cometido de los proyectos parciales, debiendo estos adaptarse al proyecto de ejecución.

- Deberá entregarse un ejemplar del proyecto al arquitecto antes de comenzar con las obras o instalaciones correspondientes.
- Acordar con el promotor la contratación de colaboradores parciales de otras técnicas profesionales.
- Facilitar la colaboración necesaria para que se produzca la adecuada coordinación con los proyectos parciales exigibles por la legislación o la normativa vigente y que sea necesario incluir para el desarrollo adecuado del proceso, que deberán ser redactado por técnicos competentes, bajo su responsabilidad y suscritos por persona física. Los proyectos parciales serán aquellos redactados por otros técnicos cuya competencia puede ser distinta e incompatible con las competencias del ingeniero y, por tanto, de exclusiva responsabilidad de estos. Elaborar aquellos proyectos parciales o estudios complementarios exigidos por la legislación vigente en los que es legalmente competente para su redacción, excepto declinación expresa del ingeniero y previo acuerdo con el promotor, pudiendo exigir la compensación económica en concepto de cesión de derechos de autor y de la propiedad intelectual si se tuviera que entregar a otros técnicos, igualmente competentes para realizar el trabajo, documentos o planos del proyecto por él redactado, en soporte papel o informático.
- Ostentar la propiedad intelectual de su trabajo, tanto de la documentación escrita como de los cálculos de cualquier tipo, así como de los planos contenidos en la totalidad del proyecto y cualquiera de sus documentos complementarios.

2.3 CONTRATISTA

El contratista es el agente que se compromete a ejecutar las obras con los medios humanos y materiales propios o ajenos, las obras o parte de las mismas con sujeción al Proyecto y al Contrato de la obra.

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

Cabe destacar, que por ley el Contratista es el responsable explícito de cualquier defecto en la construcción de la obra.

Las responsabilidades del contratista son las siguientes:

- Debe de estar capacitado profesionalmente o poseer la titulación que le habilita para cumplir las condiciones legalmente exigibles para actuar como constructor.
- Organizar los trabajos de construcción, redactando los planes de obra que se precisen y proyectando o autorizando las instalaciones provisionales y medios auxiliares de la obra.
- Examinar la documentación aportada por los técnicos redactores correspondientes, tanto del Proyecto de Ejecución como de los proyectos complementarios, así como del Estudio de Seguridad y Salud, verificando que le resulta suficiente para la comprensión de la totalidad de la obra contratada o, en caso contrario, solicitando las aclaraciones pertinentes.
- Elaborar, antes del comienzo de las obras, el plan de seguridad y salud de la obra en aplicación del estudio correspondiente, y disponer, en todo caso, la ejecución de las medidas preventivas, velando por su cumplimiento y por la observancia de la normativa vigente en materia de seguridad e higiene en el trabajo.
- Ostentar la Jefatura de todo el personal que intervenga en la obra y coordinar las intervenciones de los subcontratistas y trabajadores autónomos.
- Asegurar la idoneidad de todos y cada uno de los materiales y elementos constructivos que se utilicen, comprobando los preparados en obra y rechazando los suministros o prefabricados que no cuenten con las garantías o documentos de idoneidad requeridos por las normas de aplicación.
- Disponer de los medios materiales y humanos que la naturaleza y entidad de la obra impongan, disponiendo del número adecuado de oficiales, suboficiales y peones que la obra requiera en cada momento, bien por personal propio o mediante subcontratistas al efecto, procediendo a solapar aquellos oficios en la obra que sean compatibles entre sí y que permitan acometer distintos trabajos a la

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

vez sin provocar interferencias, contribuyendo con ello a la agilización y finalización de la obra dentro de los plazos previstos.

- Llevar a cabo la ejecución material de las obras de acuerdo con el proyecto, las normas técnicas de obligado cumplimiento y las reglas de la buena construcción.
- Custodiar el Libro de órdenes y seguimiento de la obra, y dar el enterado a las anotaciones que se practiquen en el mismo.
- Facilitar al Aparejador o Arquitecto Técnico, con antelación suficiente, los materiales precisos para el cumplimiento de su cometido.
- Preparar las certificaciones parciales de obra y la propuesta de liquidación final. Así como suscribir con el Promotor el acta de recepción de la obra.
- Concertar los seguros de accidentes de trabajo y de daños a terceros durante la obra.
- Suscribir las garantías de obra que se señalan en el Artículo 19 de la Ley de Ordenación de la Edificación y que, en función de su naturaleza, alcanzan períodos de 1 año (daños por defectos de terminación o acabado de las obras), 3 años (daños por defectos o vicios de elementos constructivos o de instalaciones que afecten a la habitabilidad) o 10 años (daños en cimentación o estructura que comprometan directamente la resistencia mecánica y la estabilidad de la instalación).
- El Constructor dará comienzo a las obras en el plazo marcado en el Pliego de Condiciones particulares, desarrollándolas en la forma necesaria para que dentro de los periodos parciales en aquel ejecutados los trabajos correspondientes y, en consecuencia, la ejecución total se lleve a efecto dentro del plazo exigido en el Contrato. Obligatoriamente y por escrito deberá el contratista dar cuenta al director de Obra del comienzo de los trabajos al menos con tres días de antelación.

3. PLIEGO DE CONDICIONES ECONÓMICAS

Las condiciones económicas fijan el marco de relaciones económicas para el abono y recepción de la obra. Puesto que el trabajo se ha realizado con carácter académico, no se tiene previsto el pago de ninguna cantidad económica; sin embargo, para la correcta realización de este apartado se supone que no es de carácter académico.

3.1 CONTRATO DE OBRAS

Es recomendable que el contrato de obra se firme entre el promotor y el contratista, evitando una intervención de la administración. A la Dirección Facultativa (director de obra o director de ejecución de la obra) se le facilitará una copia del contrato de obra.

El contrato de obra deberá prever las posibles interpretaciones y discrepancias que pudieran surgir entre las partes, así como garantizar que la Dirección Facultativa pueda, de hecho, coordinar, dirigir y controlar la obra, por lo que es conveniente que se especifiquen y determinen con claridad, como mínimo, los siguientes puntos:

- Documentos a aportar por el contratista.
- Condiciones de ocupación del terreno e inicio de las obras.
- Determinación de los gastos de enganches y consumos.
- Responsabilidades y obligaciones del contratista: Legislación laboral.
- Responsabilidades y obligaciones del promotor.
- Presupuesto del contratista.
- Revisión de precios.
- Forma de pago: Certificaciones.
- Plazos de ejecución: Planning.
- Retraso de la obra: Penalizaciones
- Recepción de la obra: Provisional y definitiva.
- Litigio entre las partes.

Todos los agentes que intervienen en el proceso de la construcción, definidos en la “Ley 38/1999. Ley de Ordenación de la Edificación”, tienen derecho a percibir puntualmente las cantidades devengadas por su correcta actuación con arreglo a las condiciones contractualmente establecidas, pudiendo exigirse recíprocamente las garantías suficientes para el cumplimiento diligente de sus obligaciones de pago.

3.2 FIANZAS

El contratista prestará una fianza conforme al procedimiento que se estipule en el contrato de obra.

3.3 EJECUCIÓN DE TRABAJOS CON CARGO A LA FIANZA

En caso de que el contratista no finalice las obras bajo las condiciones contratadas, el director de la obra contratará en nombre y representación del promotor a un tercero para que ejecute las obras, o podrá realizar por administración, abonando su importe con la fianza depositada, sin perjuicio de las acciones a que tenga derecho el promotor, en el caso de que el importe de la fianza no bastase para cubrir el importe de los gastos efectuados en las unidades de obra que no fuesen de recibo.

3.4 DEVOLUCIÓN DE LAS FIANZAS

La fianza recibida será devuelta al contratista en un plazo establecido en el contrato de obra, una vez firmada el Acta de Recepción Definitiva de la obra. El promotor podrá exigir que el contratista le acredite la liquidación y finiquito de sus deudas causadas por la ejecución de la obra, tales como salarios, suministros y subcontratos.

3.5 DEVOLUCIÓN DE LA FIANZA EN EL CASO DE EFECTUARSE RECEPCIONES PARCIALES

Si el promotor, con la conformidad del director de obra, accediera a hacer recepciones parciales, tendrá derecho el contratista a que se le devuelva la parte proporcional de la fianza.

3.6 PRECIOS

Se elabora un presupuesto para anticipar el coste que supone la construcción de la obra. Se descompondrá el presupuesto en unidades de obra, componente menor que se contrata y certifica por separado, y basándonos en esos precios, se calcula el presupuesto.

3.7 PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN DE MATERIAL (PEM)

Es el resultado de la suma de los precios unitarios de las diferentes unidades de obra que la componen. Se denomina Presupuesto de Ejecución Material al resultado obtenido por la suma de los productos del número de cada unidad de obra por su precio unitario y de

las partidas alzadas. Es decir, el coste de la obra sin incluir los gastos generales, el beneficio industrial y el impuesto sobre el valor añadido.

3.8 RECLAMACIÓN DE AUMENTO DE PRECIOS

Si el contratista, antes de la firma del contrato de obra, no hubiese hecho la reclamación u observación oportuna, no podrá bajo ningún pretexto de error u omisión reclamar aumento de los precios fijados en el cuadro correspondiente del presupuesto que sirva de base para la ejecución de las obras

3.9 REVISIÓN DE LOS PRECIOS CONTRATADOS

El presupuesto presentado por el contratista se entiende que es cerrado, por lo que no se aplicará revisión de precios. Sólo se procederá a efectuar revisión de precios cuando haya quedado explícitamente determinado en el contrato de obra entre el promotor y el contratista.

3.10 ACOPIO DE MATERIALES

El contratista queda obligado a ejecutar los acopios de materiales o aparatos de obra que el promotor ordene por escrito. Los materiales acopiados, una vez abonados por el propietario, son de la exclusiva propiedad de éste, siendo el contratista responsable de su guarda y conservación.

3.11 VALORACIÓN Y ABONO DE LOS TRABAJOS

3.11.1 Forma y plazos de abono de las obras

Se realizará por certificaciones de obra y se recogerán las condiciones en el contrato de obra establecido entre las partes que intervienen (promotor y contratista) que, en definitiva, es el que tiene validez. Los pagos se efectuarán por el promotor en los plazos previamente establecidos en el contrato de obra, y su importe corresponderá precisamente al de las certificaciones de la obra conformadas por el director de ejecución de la obra, en virtud de las cuáles se verifican aquellos. Para las obras o partes de obra que, por sus dimensiones y características, hayan de quedar posterior y definitivamente ocultas, el contratista está obligado a avisar al director de ejecución de la obra con la suficiente antelación, a fin de que éste pueda realizar las correspondientes mediciones y toma de datos, levantando los planos que las definan, cuya conformidad suscribirá el contratista. A falta de aviso anticipado, cuya existencia corresponde probar al contratista, queda este obligado a aceptar las decisiones del promotor sobre el particular.

3.11.2 Relaciones valoradas y certificaciones

En los plazos fijados en el contrato de obra entre el promotor y el contratista, éste último formulará una relación valorada de las obras ejecutadas durante las fechas previstas, según la medición practicada por el Director de Ejecución de la Obra. Las certificaciones de obra serán el resultado de aplicar, a la cantidad de obra realmente ejecutada, los precios contratados de las unidades de obra. Sin embargo, los excesos de obra realizada en unidades, tales como excavaciones y hormigones, que sean imputables al contratista, no serán objeto de certificación alguna. Los pagos se efectuarán por el promotor en los plazos previamente establecidos, y su importe corresponderá al de las certificaciones de obra, conformadas por la Dirección Facultativa. Tendrán el carácter de documento y entregas a buena cuenta, sujetas a las rectificaciones y variaciones que se deriven de la Liquidación Final, no suponiendo tampoco dichas certificaciones parciales la aceptación, la aprobación, ni la recepción de las obras que comprenden. Las relaciones valoradas contendrán solamente la obra ejecutada en el plazo a que la valoración se refiere. Si la Dirección Facultativa lo exigiera, las certificaciones se extenderán a origen.

3.12 INDEMNIZACIONES MÚTUAS

3.12.1 Indemnización por retraso del plazo de terminación de las obras

Si, por causas imputables al contratista, las obras sufrieran un retraso en su finalización con relación al plazo de ejecución previsto, el promotor podrá imponer al contratista, con cargo a la última certificación, las penalizaciones establecidas en el contrato, que nunca serán inferiores al perjuicio que pudiera causar el retraso de la obra.

3.12.2 Demora de los pagos por parte del promotor

Se regulará en el contrato de obra las condiciones a cumplir por parte de ambos.

3.13 PLAZOS DE EJECUCIÓN: PLANNING DE OBRAS

En el contrato de obra deberán figurar los plazos de ejecución y entregas, tanto totales como parciales. Además, será conveniente adjuntar al respectivo contrato un Planning de la ejecución de la obra donde figuren de forma gráfica y detallada la duración de las distintas partidas de obra que deberán conformar las partes contratantes.

3.14 LIQUIDACIÓN ECONÓMICAS DE LAS OBRAS

Simultáneamente al libramiento de la última certificación, se procederá al otorgamiento del Acta de Liquidación Económica de las obras, que deberán firmar el promotor y el contratista. En este acto se dará por terminada la obra y se entregarán, en su caso, las llaves, los correspondientes boletines debidamente cumplimentados de acuerdo a la Normativa Vigente, así como los Proyectos Técnicos y permisos de las instalaciones contratadas. Dicha Acta de Liquidación Económica servirá de Acta de Recepción Provisional de las obras, para lo cual será conformada por el promotor, el contratista, el director de obra y el director de ejecución de la obra, quedando desde dicho momento la conservación y custodia de las mismas a cargo del promotor. La citada recepción de las obras, provisional y definitiva, queda regulada según se describe en las Disposiciones Generales del presente Pliego.

3.15 LIQUIDACIÓN FINAL DE LAS OBRAS

Entre el promotor y contratista, la liquidación de la obra deberá hacerse de acuerdo con las certificaciones conformadas por la Dirección de Obra. Si la liquidación se realizara sin el visto bueno de la Dirección de Obra, ésta sólo mediará, en caso de desavenencia o desacuerdo, en el recurso ante los Tribunales.

4. PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS

4.1 CONDICIONES TÉCNICAS GENERALES

Todos los productos, equipos y sistemas que se vayan a usar en las obras, deben de cumplir unas condiciones que se especifican en el proyecto. Además, la calidad de estos debe de ir acorde a las normas publicadas y que tienen un carácter de complementariedad en el pliego, citándose como referencia:

- Normas MV.
- Normas UNE.
- Normas DIN.
- Normas ASTM.
- Normas NTE.
- Instrucción EHE-08 (REAL DECRETO 1247/2008, del 18 Julio, por el que se aprueba la instrucción de hormigón estructural (EHE08)).
- Normas AEONOR. – PIET-70.

Tendrán preferencia en cuanto a su aceptabilidad aquellos materiales que estén en posesión de documento de idoneidad técnica que avale sus cualidades, emitido por organismos técnicos reconocidos. Será deber del contratista asegurarse que los materiales cumplan con las condiciones exigidas, independientemente del nivel de control de calidad que se establezca para la aceptación de los mismos.

El contratista notificará al director de ejecución de la obra, con suficiente antelación, la procedencia de los materiales que se proponga utilizar, aportando, cuando así lo solicite el director de ejecución de la obra, las muestras y datos necesarios para decidir acerca de su aceptación.

Para poder hacer uso de estos materiales y colocarlos en la obra, el director de ejecución debe de aprobarlos antes de su empleo. Así mismo, aún después de colocados en obra, aquellos materiales que presenten defectos no percibidos en el primer reconocimiento, siempre que vaya en perjuicio del buen acabado de la obra, serán retirados de la obra. Todos los gastos que ello ocasionase serán a cargo del Contratista.

En los materiales y equipos con garantía propia, se trasladará la garantía que concede el fabricante

4.2. CONDICIONES TÉCNICAS PARTICULARES

4.2.1. Conducciones PVC

Las conducciones de PVC que se utilizarán en el transporte de agua residual de acuerdo con la norma DIN 8062, de diferentes diámetros nominales:

- DN110
- DN160
- DN200
- DN250

4.2.2. Accesorios

Los accesorios, como válvulas y codos, se instalarán en cada tramo del material que corresponda a éste y teniendo en cuenta el diámetro nominal, para asegurar la compatibilidad entre los diferentes elementos.

4.2.3. Bombas

Los sistemas de bombeo a utilizar y sus características se indican en el documento Anexos.

4.2.4 Hormigones

Los hormigones se ajustarán totalmente a las dosificaciones que se fijen en el correspondiente presupuesto y su cantidad será la necesaria para que no queden coqueas en la masa del hormigón sin perjuicio de su resistencia. Durante la ejecución de la obra se sacarán probetas de la misma masa del hormigón que se acuerde de acuerdo con las condiciones de control de calidad previsto, observándose en su confección análogas características de apisonado y curado que en la obra. Dichas probetas se romperán a los veintiocho días de su fabricación, siendo válidos los resultados de este último plazo a los efectos de aceptación de la resistencia. Si las cargas de rotura medidas fueran inferiores a las previstas podrá ser rechazada la parte de obra correspondiente, salvo que las probetas sacadas directamente de la misma obra den una resistencia superior a la de las probetas de ensayo. Si la obra viene a ser considerada defectuosa, vendrá obligado el contratista a demoler la parte de la obra que se le indique por parte de la Dirección Facultativa,

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

rechazándola a su costa y sin que ello sea motivo para prorrogar el plazo de ejecución. Todos estos gastos de ejecución, ensayo y rotura de probetas serán por cuenta del Contratista.

5. PRESUPUESTO

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

INDICE

1. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN DE MATERIAL	1
1.1 PARTIDA 1	2
1.2 PARTIDA 2	2
1.3 Partida 3	2
1.4 Partida 4	3
1.5 Partida 5	4
1.6 Partida 6	4
2. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA	4

Diseño de un proceso de nitrificación y desnitrificación para una EDAR

1. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN DE MATERIAL (PEM)

Este presupuesto hace referencia al coste que suponen los materiales y la mano de obra, necesarios para la ejecución del proyecto. Este presupuesto se separa en varias partidas que son los siguientes:

- Partida 1: Equipos
- Partida 2: Hormigón armado
- Partida 3: Conducciones
- Partida 4: Accesorios
- Partida 5: Obra civil
- Partida 6: Seguridad y Salud

1.1 PARTIDA 1

La partida 1 está formada por los equipos que conforman el proyecto

Tabla P.1 Partida 1

Elementos	Unidad	Cantidad	Precio/unidad EUR	Precio EUR
Bomba sumergible de aguas residuales SE.110.200.100.4. 52M.C.N.51D.A Grundfos	Ud.	1	6.445,00	6.445,00
Bomba Sumergible de aguas residuales SE1.110.200.220.4.52M.C.N.51.D.A Grundfos	Ud.	1	19.309,00	19.309,00
Difusores de burbuja fina Xylem	Ud.	643	37,28	23.971,04
Parrillas de difusores	Ud.	6	12.200,00	73.200
TOTAL				122.925,00

1.2 PARTIDA 2

La partida 2 está formada por el hormigón armado y las arquetas constituidas de hormigón.

Tabla P.2 Partida 2

Elementos	Unidad	Cantidad	Precio/unidad €	Precio €
Hormigón armado	m ³	100	75	7500
Arqueta sifónica en hormigón armado 60x60x65 marca Adyamar	Ud.	6	61,27	367,62
Tapa HA 50*50 con cerco y marco metal	Ud.	6	11,90	71,40
TOTAL				7.939,02

1.3 PARTIDA 3

La partida 3 está formada por las conducciones de agua residual y de fango.

Tabla P.3. Partida 3

Elementos	Unidad	Cantidad	Precio/unidad €	Precio €
Tubería PVC-0 DN=250mm, P=12,5 bar	m	19,70	20,30	399,91
Tubería PVC-0 DN=200mm, P= 12,5bar	m	35	11,49	402,15
Tubería PVC-0 DN=160mm, P=12,5bar	m	12,57	8,57	107,72
Tubería PVC-0 DN=110mm P=12,5bar	m	15,31	2,76	42,31
TOTAL				952,09

1.4 PARTIDA 4

La partida 4 está formada por los accidentes presentes en la tubería

Tabla P.4 Partida 4

Elementos	Unidad	Cantidad	Precio/unidad €	Precio €
Codo STD 90° de PVC	Ud.	13	142,45	1.851,85
Tes de PVC	Ud.	6	38,514	231,084
Reducción 250/200	Ud.	2	42,08	84,16
Reducción 200/160	Ud.	4	25,40	101,6
Reducción 160/110	Ud.	4	13,26	53,04
Ampliación 200/250	Ud.	1	25,26	25,26
Ampliación 150/200	Ud.	1	19,50	19,50
Válvulas de asiento, retención cierre Acero fundido, paso recto Valsum DN 200	Ud.	4	2.916,00	11.664,00
Válvulas de asiento, retención cierre Acero fundido, paso recto Valsum DN 160	Ud.	2	1.700,00	3.400,00
Válvulas de asiento, retención cierre Acero fundido, paso recto Valsum DN 110	Ud.	4	750,00	3.000,00
TOTAL				20.430,49

1.5 PARTIDA 5

La partida 5 hace referencia al trabajo de obra civil.

Tabla P.5 Partida 5

Elementos	Unidad	Cantidad	Precio/unidad €	Precio €
Trabajo de obra civil	Ud.	1	23.180,00	23.180,00

1.6 PARTIDA 6

La partida 6 hace referencia al presupuesto de Seguridad y Salud.

Tabla P.6. Partida 6

Elementos	Unidad	Cantidad	Precio/unidad €	Precio €
Seguridad y Salud	Ud.	1	5.795,00	3.045,072

2. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA

El Presupuesto de Contrata (PC) es el importe que cobra al contratista de modo que al valor de materiales y mano de obra, se le añade la parte proporcional de sus gastos generales y del beneficio industrial a obtener de la obra.

Los gastos generales suponen un 12% del PEM y el beneficio industrial supone un 6% del PEM. El PEC parcial queda detallado en la tabla P.7

Tabla P.7 PEC Parcial

PEM	178.478,672 €
Gastos Generales	21.417,44 €
Beneficio Industrial	10.708,72 €
PEC Parcial	210.604,83 €

En la tabla P.8 se determina el PEC total para ello será necesario añadir el IVA al PEC parcial:

Tabla P.8 PEC total

PEC Parcial	210,604,83 €
IVA 21%	44.227,01 €
PEC Total	254.831,85 €