

Universidad de **Cádiz**

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

Facultad: CIENCIAS

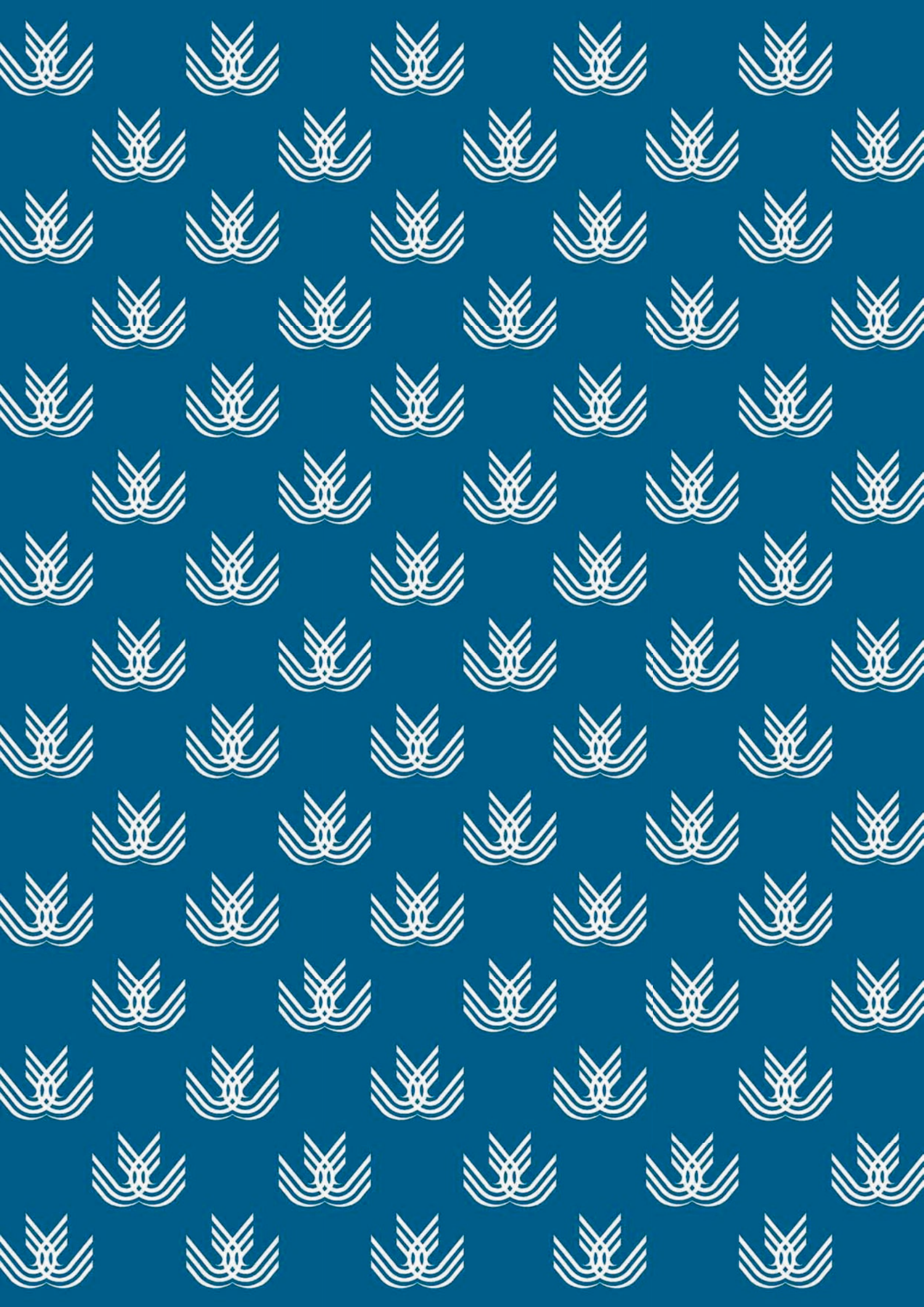
Titulación: INGENIERÍA QUÍMICA

Título: Diseño de una estación depuradora de aguas residuales en el municipio de Medina Sidonia

Autora: Marta PÉREZ DOMÍNGUEZ

Fecha: Febrero 2007





**TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO - PROYECTO FIN DE CARRERA  
"DISEÑO DE UNA ESTACIÓN DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES EN  
EL MUNICIPIO DE MEDINA SIDONIA"**

**Marta Pérez Domínguez**

Para la elaboración del Proyecto Fin de Carrera (PFC) del Título de Ingeniero Químico, se ha elegido el diseño de una Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) en el Municipio de Medina Sidonia.

El agua, fuente natural de vida, puede llegar a convertirse en un vehículo de contaminación. Los efectos de esta contaminación del agua pueden afectar al medio ambiente, en general, y a la salud humana en particular. Por ello, para este PFC se optó por afrontar el diseño de una EDAR con el objetivo de reducir la contaminación de aguas residuales en una determinada zona.

Para su ubicación, la elección fue el municipio de Medina Sidonia ya que, en el momento en el que se ideó este Proyecto, en esta localidad se vertían las aguas residuales al río Iro, sin aplicarle ningún tipo de tratamiento previo, por lo que se hacía necesario un sistema para evitar los problemas de salud pública que a los habitantes de Medina Sidonia y su entorno podía provocar este vertido.

Por tanto, el objeto de este Proyecto Fin de Carrera ha sido seleccionar y dimensionar los diferentes elementos de una Estación Depuradora de Aguas Residuales para rebajar los niveles de carga contaminante del vertido - el agua que se debe tratar tiene un nivel de  $\text{DBO}_5$  de 254,2 mg/l y de sólidos totales en suspensión (SST) de 381,3 mg/l - hasta lo permitido por la normativa vigente en el entorno de Medina Sidonia, con una población en 2005 de 10.985 habitantes. La EDAR se plantea para una vida útil de 20 años por lo que se ha tenido en cuenta la población de Medina Sidonia para el año 2025, estimada en 11.507 habitantes.

Uno de los elementos que hubo que tener en cuenta a la hora de afrontar el diseño de esta EDAR es el hecho de que la zona de vertido se

considera una zona sensible lo que condicionó el sistema de tratamiento escogido.

Con estas premisas, se ha preferido, en primer lugar, un proceso simultáneo de desarenado-desengrasado, para lograr un ahorro del volumen total necesario para la realización de los dos procesos. En este punto la elección ha sido la de un desarenador aireado porque proporciona arenas más limpias, mayor porcentaje de eliminación y facilita el ajuste de cantidad de aire suministrado.

Para el tratamiento biológico, entre las distintas opciones, se ha optado por un sistema de aireación prolongada debido a su bajo coste de construcción, mantenimiento y facilidad de explotación. Al adoptarse este sistema de aireación prolongada se ha prescindido del proceso de decantación primaria.

Se hacía también necesario incorporar un proceso para reducir el nitrógeno. En este caso la opción elegida es la nitrificación-desnitrificación por desnitrificación prolongada (simultánea y alternante) con lo que se consigue un volumen anóxico mínimo con el consiguiente ahorro de materiales y con un caudal de recirculación.

Por último, para separar los sólidos en suspensión del agua clarificada y espesar el fango de retorno se incorpora un decantador secundario en el que se produce sedimentación por zonas y sedimentación por compresión.

A grandes rasgos, el proceso que sigue el agua es el siguiente:

El agua contaminada entra en la EDAR a través de un canal de entrada y es objeto de pretratamiento mediante una rejilla de desbaste para eliminar los sólidos gruesos que pudieran obstaculizar la acción de las unidades posteriores.

Una vez desbastada, el agua pasa al desarenador donde, mediante la disminución de la velocidad del agua residual, se consigue la sedimentación de

las partículas de arena. Al haberse prescindido de la decantación primaria, del pretratamiento el agua pasa, directamente, al tratamiento biológico.

El objetivo principal de este tratamiento biológico es la coagulación, eliminación y estabilización de la materia orgánica. Para ello se emplea la acción de microorganismos que usan como fuente de alimentación la materia orgánica del agua residual.

En la aireación prolongada, para eliminar el nitrógeno del agua residual y evitar así los procesos de eutrofización se convierte el nitrógeno a nitrato mediante un proceso de nitrificación biológica.

Tras estos tratamientos, el agua pasa al decantador secundario en el que se separa de los sólidos en suspensión y se espesa el fango de retorno. Los lodos producidos en este proceso se unen a los procedentes de la cuba.

Por tanto, tras el paso por la decantación secundaria hay dos corrientes de salida, una con agua clarificada que se dirige al cauce receptor y otra con los fangos que recircula al reactor biológico.

Con el contenido expuesto el Proyecto Fin de Carrera se divide en cuatro documentos. En primer lugar, la Memoria Descriptiva, en la que se define el objeto y las características del proyecto, se justifican las soluciones adoptadas que se acaban de enumerar, dando las razones para dicha elección. Esta Memoria cuenta con cuatro Anexos: los cálculos y las fórmulas empleadas se indican en los Anexos 1, 2 y 3 mientras que en el Anexo 4 se desarrolla la programación de las obras.

El segundo documento es el Pliego de Condiciones en el que se recogen todas las exigencias técnicas, económicas, administrativas y legales que han de regir para la ejecución del proyecto de forma que pueda materializarse en las condiciones especificadas.

El tercer documento es el Presupuesto donde se ha determinado el coste económico de esta EDAR, reflejando la inversión necesaria para llevarla a cabo.

Por último, en el cuarto documento, de Planos, se incorporan siete planos en los que se representan a escala reducida en dos dimensiones el conjunto de elementos de la EDAR.

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized, overlapping letters and lines, located in the lower right quadrant of the page.

## ÍNDICE DE LA MEMORIA

1. OBJETO DEL PROYECTO.	1
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.	2
3. UBICACIÓN Y EMPLAZAMIENTO	3
3.1 . Ubicación. Especial referencia a la descripción de la zona	
3.1.1 Medio Físico	4
3.1.2 Medio humano y socioeconómico	8
3.2 Emplazamiento	11
4. CRITERIOS DE SELECCIÓN Y EXPOSICIÓN DE ALTERNATIVAS TÉCNICAS.	13
5. VIABILIDAD DEL PROYECTO	35
5.1 Viabilidad legal.	35
5.1.1 Normativa comunitaria aplicable.	36
5.1.2 Normativa española	39
5.1.3 Objetivos de calidad. Normativa 91/271/CEE	42
5.2 Viabilidad Técnica	47
5.2.1 Estado actual de la infraestructura hidráulica.	47
5.2.2 Viabilidad técnica de los diferentes sistemas posibles.	49
5.3 Viabilidad económica	53
6. SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA TÉCNICA MÁS ADECUADA.	54
7. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA.	63
7.1 Pretratamiento	63

7.2 Tratamiento biológico	68
7.2.1 Crecimiento de un cultivo discontinuo	69
7.2.2 Cinética de crecimiento biológico	71
7.2.3 Fangos activos por Aireación Prolongada	71
7.2.3.1 Relaciones cinéticas	78
7.2.3.2 Formulación del reactor biológico discontinuo	79
7.2.4 Procedimiento de diseño para lodos Activos	85
7.2.4.1 Ecuaciones de diseño.	85
7.2.4.2 Producción total de lodos.	89
7.2.4.3 Relación de reciclado.	91
7.2.4.4 Estimación de $Q_w$ y $Q_e$ .	92
7.2.4.5 Estimación del volumen del reactor	93
7.2.4.6 Consumo de nutrientes.	96
7.2.4.7 Balance de materia a los sólidos no volátiles en suspensión.	97
7.2.4.8 $DBO_{5total}$ en el efluente	99
7.2.5 Elección del tipo de reactor.	100
7.2.6 Aireación Prolongada	101
7.2.6.1 Edad de fangos.	104
7.2.6.2 Nitrificación- Desnitrificación	105



7.3Decantador Secundario	110
7.4Línea de fangos.	111
8. COMPENDIO DE LAS DIMENSIONES DE LA PLANTA.	112
9. MANTENIMIENTO.	116
10.SEGURIDAD E HIGIENE.	124
11.IMPACTO AMBIENTAL.	127
11.1 Normativa vigente.	127
11.2 Evaluación del impacto ambiental.	129
11.2.1 Acciones susceptibles de causar impactos.	129
11.2.2 Impactos producidos en el medio.	130
11.2.3 Efectos causados por la explotación de la E.D.A.R.	132
11.3 Valoración de impactos.	132
11.4 Conclusiones.	133
12. BIBLIOGRAFÍA.	136

## **1.- OBJETO DEL PROYECTO**

El aumento de los niveles de vida del hombre ha acarreado un incremento de su interacción con el medio que lo rodea. Esta vinculación del hombre con el medio ambiente ha traído consigo el detrimento de los recursos naturales, por la explotación de dichos recursos y por el aumento de los desechos de la actividad humana.

Entre los recursos naturales de los que disfruta el hombre, uno de los que mayor trascendencia ha tenido y sigue teniendo en el desarrollo de la humanidad es el agua, factor esencial para la actividad humana. El agua es, sin duda, uno de los compuestos más valorados en el mundo. El agua es un bien escaso por lo que las corrientes técnicas en la actualidad se dirigen, no sólo a su obtención sino, también, a su correcta utilización y adecuada devolución a su ciclo natural. Se trata de evitar que el agua, tras ser utilizada por el hombre, regrese contaminada al medio natural. Sólo así se alcanzará un aprovechamiento sostenible del recurso hídrico.

En la línea de preservación del agua que se ha trazado, este proyecto se encamina a seleccionar y dimensionar los diferentes elementos de una Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) que permita rebajar los niveles de carga contaminante del vertido hasta lo contemplado en la normativa vigente.

En concreto, se ha seleccionado para la implantación de la EDAR la localidad de Medina Sidonia, ya que actualmente, las aguas residuales se vierten al río Iro, sin ningún tipo de tratamiento previo.

Por todo ello, el objeto de este proyecto es diseñar una estación que posibilite un aprovechamiento sostenible de los recursos hídricos en la localidad de Medina Sidonia.

## 2.- JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Medina Sidonia cuenta en la actualidad con una población de 10985 habitantes, según los datos del censo del 2005. La EDAR se pretende diseñar para que tenga una vida útil de 20 años. Por ello, hay que realizar, igualmente, una estimación sobre la población de Medina Sidonia para el año 2025. El resultado de la estimación arroja (Ver ANEXO 1), una población para dicho municipio en el año 2025 de 11507 habitantes.

Las características actuales del agua en Medina Sidonia se han estimado a partir de tablas tomadas de la bibliografía (Aurelio Hernández, 1997), de acuerdo con los datos de población:

DBO<sub>5</sub> : 254,2 mg / l

SST : 381,3 mg / l

El Proyecto parte de estas realidades para reducir los niveles de contaminantes en el agua por debajo de los límites establecidos en la normativa medioambiental aplicable, teniendo en cuenta los niveles de consumo de agua que se alcanzarán en Medina Sidonia en los próximos 20 años, de tal forma que la EDAR pueda satisfacer las necesidades de depuración del agua para una población máxima en torno a los 11510 habitantes.

Como resultado del proceso de selección, se determinará la solución óptima para las condiciones reinantes y se procederá a detallar el diseño necesario para la materialización de la solución adoptada.

### **3.- UBICACIÓN Y EMPLAZAMIENTO**

#### **3.1 Ubicación. Especial referencia a la descripción de la zona.**

El municipio de Medina Sidonia se encuentra en la provincia de Cádiz. Concretamente, el núcleo urbano está situado a una latitud de 36° 27' 20.6" N y a una longitud de 5° 55' WG. Su extensión superficial es de 493 km<sup>2</sup> (www.wikipedia.es)

##### **3.1.1 Medio físico.**

###### *a) GEOLOGÍA.*

La estructura geológica de la zona se explica teniendo en cuenta los procesos que han afectado a la Cordillera Bética, que tiene una formación relativamente joven.

Esta cordillera tiene su origen dentro de la Orogenia Alpina, con una orientación preferentemente en sentido OSO-ENE. Y se extiende desde Cádiz hasta Alicante, prolongándose bajo el Mediterráneo para emerger de nuevo en las Baleares. Se pueden distinguir una serie de dominios estructurales, que tiene su propia significación paleogeográfica y tectónica y que son las zonas externas, el Complejo de unidades del Campo de Gibraltar y las Zonas Internas. El término municipal de Medina Sidonia pertenece a las Unidades Subbéticas, en parte y al Complejo de unidades del Campo de Gibraltar por otra parte.

A través de la Falla de Majaceite- Barbate se conectan bruscamente la Campiña Sur y el Campo de Gibraltar, que resulta de la unión entre las areniscas del Aljibe y las formaciones arcillosas del Campo de Gibraltar. Por la vertiente occidental de la falla discurre el río Barbate, al sur del término municipal.

### *b) GEOMORFOLOGÍA.*

El paisaje que muestra el municipio es consecuencia de la topografía, litología, estructura interna de los materiales, hidrología, vegetación, clima y actividad humana. Pero sobre todo es la topografía la que condiciona su aspecto en general.

Cuando se habla de la Campiña, se está describiendo, principalmente, un dominio continental, condicionado por la litología y estructura de los materiales, predominando las zonas bajas de llanura, desarrolladas sobre materiales blandos, fundamentalmente margas, arcillas y arenas. Se trata de una zona en general llana o suavemente alomada, con alturas comprendidas entre el nivel de mar y 300 metros, en las zonas más elevadas.

### *c) GEOTECNIA.*

Las condiciones geotécnicas del suelo se definen como la capacidad portante del terreno y su respuesta frente a acciones constructivas. Estas condiciones están influenciadas por múltiples factores naturales, como la climatología, hidrología, topología y por factores artificiales como los vertidos o las obras hidráulicas.

Se destacarán los siguientes aspectos relacionados con las condiciones geotécnicas:

- La topografía es un factor que condiciona la posibilidad de efectuar obras en el núcleo urbano. Debido a la pendiente que se alcanza en la falda de la ladera, se desaconseja la realización de obras de gran superficie, ya que esto significaría la realización de movimientos de tierra de gran volumen.

- En terrenos aluviales poco consolidados, la superficie alomada típica de esta zona hace que puedan existir problemas. En general, las arcillas poco consolidadas dan más problemas que las calcarenitas.

- La influencia de la climatología es clara, en el sentido de que las precipitaciones afectan a todo tipo de suelos, haciendo que suelos poco consolidados cambien sus características; mientras que aquellos que son más consistentes se verán afectados por la meteorización o los procesos frío- calor. Todo esto trae como consecuencia la pérdida de estabilidad de las laderas, que junto con el vertido de las aguas sin depurar provocan movimientos de tierra y una fuerte erosión.

#### d) CLIMATOLOGÍA.

Medina Sidonia posee un clima típicamente mediterráneo característico del sur de España. Las temperaturas son suaves, los vientos predominantes son el poniente y el levante y las precipitaciones se presentan fuertes y poco abundantes en invierno y escasas en verano. Todo esto lleva a clasificar el clima de Medina Sidonia como Mediterráneo subtropical con régimen térmico semicálido.

Las temperaturas medias son suaves y homogéneas. Las más bajas se dan con vientos del norte durante los meses de enero y febrero, aunque no llegan a bajar de los 0°C. Las más altas se producen cuando soplan vientos cálidos en los meses de junio y julio. En la tabla 1 se observa la distribución de temperaturas medias, la máxima absoluta y la mínima absoluta para el año 2003. (Fuente: Instituto Nacional de Meteorología).

Tª MEDIA (°C)	Tª MEDIA MÁX ABS (°C)	Tª MEDIA MIN ABS (°C)
18,6	45,1	- 0,8

**Tabla 1. Distribución de temperaturas medias.**

Las precipitaciones son muy irregulares, concentrándose generalmente en invierno y existiendo una estación seca larga (en torno a 8 meses). Las precipitaciones en forma de nieve y granizo son prácticamente inexistentes. En

la tabla 2 (Instituto Nacional de Meteorología) se puede observar la distribución de las precipitaciones totales (en mm) por estación.

<b>PRIMAVERA</b>	<b>VERANO</b>	<b>OTOÑO</b>	<b>INVIERNO</b>
34,97 mm	12,8 mm	152,67 mm	52,87 mm

**Tabla 2: Distribución de precipitaciones totales (mm).**

El régimen de vientos se encuentra influenciado por la situación geográfica de Medina Sidonia, al encontrarse ésta junto al Estrecho. Los vientos más abundantes son los de Poniente y Levante, aunque también se pueden encontrar el Norte frío y el Sur húmedo, pudiendo estar acompañados de precipitaciones y una fuerte humedad ambiental. La existencia de viento en verano proporciona temperaturas agradables y unos efectos bastante beneficiosos para los cultivos. El Levante sopla del este y es un viento cálido y seco que tiene influencia negativa para los cultivos debido a la baja humedad relativa que genera.

La humedad relativa sufre grandes oscilaciones debido al régimen de vientos y los ciclos día – noche. En el núcleo urbano se registran valores muy elevados, llegando incluso a un índice de humedad del 96 %.

La zona de Medina Sidonia se clasificaría como zona húmeda de estepa o sabana, mientras que la Campiña poseería un clima subárido.

#### *e) HIDROLOGÍA E HIDROGRAFÍA.*

El núcleo urbano de Medina Sidonia se abastece a través de conducciones desde el embalse de Los Hurones.

El río más importante que se encuentra dentro del área local es el río Barbate, que discurre al sur del municipio. Recibe al Alamo y al Celemín, también al sur y en el límite del término. El otro cauce de entidad es el río Iro, que nace del sistema de arroyada y surge desde el camino del Hundido hasta el rancho del Pinto. El río Iro se denomina Salado dentro del término municipal de Medina y es a través del arroyo del Saltillo y del sistema de arroyada donde Medina vierte sus desagües.

Hay que destacar que existen numerosos arroyos en todo el término municipal, que junto a los anteriormente citados conforman la red hidrográfica, desembocando unos sobre otros. Los únicos que no se agotan del todo en los meses estivales son el Barbate, el Celemín, el Alamo y el Salado (Iro), sin que por ello no circule corriente en otros arroyos durante años hidráulicos con pluviosidad alta.

Respecto a las cuencas vertientes se debe decir que Medina es la altura más representativa de todo el entorno físico que interesa para establecer las opciones de la depuración de las aguas residuales. Por ello se va a convertir en punto de división de cuencas vertientes. Se encuentran en el núcleo urbano de Medina Sidonia tres cuencas vertientes:

- La cuenca hidrográfica vertiente con dirección N - NE vierte sus aguas desde el entorno del núcleo urbano mediante los arroyos del Bonete, del Azúcar y del Donadío, llegando a salir al norte del término municipal por el Salado de Paterna, afluente del río Guadalete y desembocando al Parque Natural Bahía de Cádiz por la ciudad de El Puerto de Santa María. Esta cuenca drena en poco porcentaje al municipio.

- La cuenca hidrográfica con dirección S - SE recoge las aguas de la otra parte este de la ciudad, principalmente por los arroyos de la Canaleja y arroyo de los Carniceros, llegando al arroyo del Yeso y finalmente al río Barbate, saliendo al sur del término municipal antes de llegar al Parque Natural de los Alcornocales, desembocando en las Marismas del Barbate al Atlántico. Esta cuenca drena de manera importante al municipio mediante arroyos.



- La cuenca con dirección E – O drena a toda la parte este del núcleo urbano y es principalmente por el arroyo del Saltillo por la que actualmente se evacuan la mayor parte de las aguas residuales que vierte Medina Sidonia. De éste van a parar al arroyo del Conde, y de aquí al río Salado – Iro, para desembocar finalmente al Parque Natural Bahía de Cádiz por la ciudad de Chiclana de la Frontera. Es la principal cuenca en cuanto a magnitud de caudal drenado y la más problemática, debido a que los caudales vertidos afectan a la estabilidad de la ladera, además de contaminar el río Iro.

#### *f) VEGETACIÓN Y ZONAS NATURALES.*

La vegetación predominante es de monte bajo, pudiendo apreciarse especies como el palmito, el romero o el tomillo. En cuanto a la vegetación del bosque se pueden citar los alcornoques, madroños, fresnos, brezos y chaparros.

Con respecto a las zonas naturales, existen distintas lagunas de dimensiones reducidas y carácter semipermanente distribuidas por todo el término municipal, pero principalmente se pueden resaltar el Parque Natural de los Alcornocales, enclavado en parte en el sur del término municipal de Medina Sidonia y la Reserva Natural del Complejo Endorreico de Chiclana y laguna de Montellano, situado al este del término municipal de Medina Sidonia, que se adentra en Chiclana de la Frontera.

#### **3.1.2 Medio humano y socioeconómico.**

El urbanismo de Medina ha tenido como principal condicionante el tener que ajustarse a una cuesta en declive salvando grandes desniveles, a veces más del 15%, por lo que no ha tenido opción de estructurarse ortogonalmente, estando imposibilitadas para el automóvil las calles que siguieron una dirección perpendicular a la orientación N – S de la cima del cerro donde se asienta el núcleo urbano.

Estos condicionantes no impiden que Medina Sidonia sea una ciudad de gran belleza. Su conjunto histórico artístico refleja la importancia que ha tenido durante toda su existencia dentro de la provincia, especialmente durante la edad media y moderna. Se pueden citar, entre ellos, el conjunto arquitectónico romano, las ruinas del castillo de Torrestrella, la ermita visigoda del año 630, la puerta árabe del s. X (Arco de la Pastora), la Iglesia Mayor del s. XVI, etc.

Los usos del suelo del entorno del núcleo urbano vienen condicionados principalmente por la topografía del terreno.

En cuanto a la población de Medina Sidonia, se debe decir que ha sufrido variaciones importantes, tanto positivas como negativas, a lo largo de su historia.

Estas variaciones se deben principalmente a motivos históricos y económicos. Se podría citar como ejemplo la oleada de inmigrantes del campo andaluz a Madrid o Cataluña durante los años 60 y 70.

Atendiendo a las actividades económicas, cabe decir que la principal actividad del municipio es la agricultura. En ella trabaja un 35,6 % de la población activa (según censo del 2005), sufriendo una tasa de paro del 12,9 % (INEM 2005). La superficie útil de explotaciones es de 31169 ha, siendo los cultivos más habituales el cereal y la hortofruticultura.

En cuanto a la ganadería se debe decir que no existe en el entorno del núcleo urbano, aunque existe un número importante de unidades de bovino y de porcino diseminadas en pequeñas explotaciones esparcidas por el término municipal, sin conexión con la red de saneamiento del núcleo urbano.

La población industrial es realmente escasa, no existiendo una gran empresa en todo el término municipal. Las principales se dedican a la alimentación (panaderías, restauración) y madera (carpintería y muebles). A los efectos que interesan a este proyecto, carecen de importancia en cuanto al

posible tratamiento de sus vertidos. En la tabla 3 (Instituto de Comercio de Andalucía. Cámara de Comercio de Cádiz), se observan las empresas más relevantes de Medina Sidonia.

<b>DENOMINACION</b>	<b>ACTIVIDAD</b>
Hotel Medina Park, S.L.	Restaurantes
Acina, S.L.	Muebles domésticos
Sabores de Medina, S.L.	Pan y productos de pastelería
Cuela 164, S.L.	Escuelas y servicios educativos
Centro Medico	Servicios médicos

**Tabla 3. Empresas relevantes en Medina Sidonia.**

En cuanto al sector servicios, la mitad del comercio minorista se dedica al negocio de la alimentación (52.14 %), seguido del textil (14.11 %), construcción (12.9 %), bioquímico (6.7 %) y carburantes (2.45%). Además cabe destacar la existencia de un mercado ambulante que ronda el 13 % de la actividad comercial.

### INFRAESTRUCTURAS.

La ciudad de Medina Sidonia está conectada con el resto de la provincia mediante las siguientes vías. (Fuente: Atlas de Cádiz).

- A – 381 (Jerez – Medina - Los Barrios)
- A – 390 (Medina - Chiclana)
- A - 393 (Paterna – Medina – Vejer – Benalup)
- C - 211 (Medina Sidonia – Benalup)
- CA – 204 (Jerez – Medina – Alcalá de los Gazules)

Además existen otras vías de carácter localizado, carreteras, carriles y vías pecuarias, que enlazan distintos caminos entre sí y que circunvalan el núcleo urbano (CA – 2032) uniendo Medina con otras entidades de la población, caseríos, etc.

En 1967 se inauguró la red distribuidora de aguas a toda la ciudad y en 1962 la red de alcantarillado general.

### **3.2 Emplazamiento**

El emplazamiento de la depuradora se situará a unos 1500 m al W del núcleo urbano, entre el Prado de la Feria y el cruce de las carreteras C – 343 y C – 346, a unos 600 m al S del Prado de la Feria y a unos 650 m al noroeste del cruce. Las razones de la ubicación se exponen a continuación.

La topografía condiciona el emplazamiento de la depuradora de una manera crucial, ya que la falda de la colina llega a tener en alguno de sus puntos pendientes de hasta el 60%, lo que provocaría un movimiento de tierras tremendo para una depuradora de aguas residuales. En el lugar del emplazamiento se suavizan las curvas de nivel, por lo que la obra civil tendrá menor envergadura, además de contar ya con una pendiente natural para el funcionamiento de la depuradora.

Otro de los factores que hacen situar el emplazamiento alejado de la falda de la colina es el peligro latente de desprendimientos y pequeños movimientos diferenciales del terreno en épocas de lluvias; como ya se vio en el apartado de geotecnia. Pueden existir problemas cuando el terreno sea de características geomecánicas dudosas, como puede ser en terrenos aluviales poco consolidados.

Los terrenos donde se pretende ubicar la depuradora son aptos para la construcción, con una pendiente máxima en la zona del 10%, ocupados por

una parcela con cultivo de secano, semi – improductivo. Además, el ayuntamiento no prevé crecimiento urbano en la zona.

También se debe tener en cuenta la disposición de los puntos de vertido. Éstos van de S a N con cotas decrecientes, con lo que se tiene la ventaja del ahorro de un sistema de bombeo, necesario en cualquier emplazamiento distinto del elegido.

Se ha buscado dicho emplazamiento cerca del Prado de la Feria, ya que el terreno se encuentra urbanizado, por lo que se simplifica la toma de agua potable. Respecto a la toma de energía, se observa que pasa por la zona dos líneas eléctricas; una de 380 kv. y otra de 220 kv., ésta última a unos 300 m. de la ubicación prevista.

Con este emplazamiento se separa la estación depuradora del núcleo urbano, por lo que no se ocasionan molestias de olores debido al régimen de vientos dominantes, y se minimiza el impacto visual, cumpliendo así la ley de protección ambiental.

Al estar situado al lado de una vía de comunicación, se ahorrará el costo de una vía de acceso a la obra, y se tendrá garantizado el suministro por carretera de materiales de construcción.

Debido a la proximidad del arroyo al cual se verterán las aguas, el vertido no planteará problemas.

#### **4.- CRITERIOS DE SELECCIÓN Y EXPOSICIÓN DE ALTERNATIVAS TÉCNICAS.**

Los criterios básicos a tener en cuenta para la selección de los sistemas de tratamiento en el núcleo urbano de Medina Sidonia serán los siguientes:

- Los dos factores principales a la hora de elegir el sistema de tratamiento más adecuado son minimizar la superficie de la depuradora y conseguir los rendimientos establecidos por la legislación.
- La topografía del terreno traerá como consecuencia la implantación de un sistema ausente de bombeo de aguas residuales, ya que se aprovecha la ubicación de la depuradora.
- La población existente en el año del proyecto permite un sistema convencional de bajo coste, con lo que se abarata y simplifica el sistema de depuración de aguas residuales.
- El carácter biodegradable de las aguas residuales marcará posibles líneas de alternativas o la obligación de ir sólo a sistemas de película biológica.

Por biodegradabilidad se entiende el valor que toma la relación  $DBO_5/DQO$  y determinará el tratamiento biológico más apropiado de la siguiente manera:

- Una relación  $DBO_5 / DQO$  superior a 0,4 aconseja utilizar lechos bacterianos o fangos activos.
- Para una relación  $DBO_5 / DQO$  cuyo valor está comprendido entre 0,2 y 0,4 conviene aplicar lechos bacterianos.

- Una relación  $DBO_5/DQO$  menor de 0,2 no es biodegradable y se recomiendan procesos químicos para su tratamiento.

Cabría decir que por  $DBO_5$  se entiende la Demanda Biológica de Oxígeno, mientras que cuando se habla de DQO se expresa la Demanda Química de Oxígeno.

- Otro punto a tener en cuenta es la climatología, ya que los factores climatológicos influyen en la elección del sistema de tratamiento y condiciona el funcionamiento de los sistemas biológicos.
- Debido a la distancia de la depuradora al núcleo urbano, la producción de malos olores no será un factor de peso a la hora de elegir las alternativas posibles, pero habrá que tener en cuenta las futuras expansiones urbanísticas.

Aparte de estas consideraciones básicas, se debe tener en cuenta que se está hablando de una depuradora para un núcleo de pequeño tamaño, así que también se seguirán las siguientes directrices:

- Evitar automatismos y sofisticaciones exageradas.
- Reducir exigencias de especialización de mano de obra y que ésta sea reducida.
- Consumo energético moderado y máxima independencia de fuentes energéticas exteriores.
- En definitiva, que el sistema sea la opción técnica y económica más adecuada, que permita obtener los mejores rendimientos, para todas las condiciones existentes.

La depuración de las aguas residuales consiste en la eliminación de la contaminación y las impurezas que se incorporan al agua por medio de causas naturales o artificiales. Los tratamientos que se pueden aplicar son básicamente tres, pudiendo estar presentes a la vez:

- *Procesos físicos*, en los cuales se llevan a cabo las operaciones de desbaste, desengrasado, sedimentación, flotación, evaporación o absorción.
- *Procesos químicos*, tales como la floculación y coagulación, la neutralización, la oxidación y reducción o el intercambio iónico.
- *Procesos biológicos*, tales como los fangos activos o lechos bacterianos.

Por otro lado, la combinación de estos procesos da lugar al sistema de depuración de las aguas residuales, en las que surgen dos líneas de tratamiento, la línea de aguas y la línea de fangos.

En la línea de aguas de una depuradora convencional se puede encontrar:

- Entrada de agua bruta.
- Rejillas que eliminan sólidos de gran tamaño.
- Desarenadores.
- Cámara de grasas.
- Decantación.
- Proceso químico o biológico (según el tipo de tratamiento a tratar).



La línea de fangos consiste en un tratamiento para estabilizar los lodos que van surgiendo a medida que se van depurando las aguas. Básicamente existen tres procesos: espesado, digestión y deshidratación.

En función del rendimiento alcanzado por la línea de aguas, se puede hablar de tres tipos de depuración alcanzada:

- *Depuración primaria:* se utilizan procesos físicos para llegar a reducciones que rondan el 35% en DBO<sub>5</sub> y el 50% en SS (Sólidos en suspensión).
- *Depuración secundaria:* Se suelen utilizar tratamientos biológicos, con los que se pueden obtener una disminución de DBO<sub>5</sub> en un 85 -90% y de SS en un 85 - 92%.
- *Depuración terciaria:* Se utilizan sobre todo procesos físicos y químicos, llegando a reducciones de DBO<sub>5</sub> en un 92 - 98% y de SS en un 93 - 98%.

Los tratamientos convencionales siguen a grandes rasgos el proceso anteriormente descrito de depuración primaria, secundaria y terciaria. Ésta última sólo está presente en contadas ocasiones, o incluida dentro de la secundaria o como complemento de ella.

Paralelamente a estas tecnologías convencionales, la necesidad de tratar las aguas de pequeños núcleos hizo que se buscasen soluciones menos complejas para dichos núcleos, simplificando los procesos o adecuándolos al nivel de depuración exigido para los mismos, llegando así a los sistemas de bajo coste convencionales y naturales, donde se aplican las tecnologías blandas, procesos unitarios que realizan un tratamiento válido en pequeñas poblaciones y sistemas convencionales pero con costes de explotación y mantenimientos mínimos.

## DESCRIPCIÓN DE ALTERNATIVAS:

### *Sistema de fosa séptica.*

La fosa séptica es una unidad de sedimentación en la que los sólidos se depositan en el fondo, donde tiene lugar una digestión parcial anaeróbica en contacto con el agua residual en movimiento. Suelen constar de dos o más cámaras en serie, la primera doble de la segunda. Es un sistema adecuado para poblaciones menores de 300 habitantes. Los rendimientos alcanzados se traducen en reducciones de  $DBO_5$  comprendidas entre un 30 % y un 40% y de sólidos en suspensión del 50%. Tiene los problemas de eliminación de sólidos y olores.

### *Sistema de tanques de decantación digestión.*

Es un sistema análogo al de fosas sépticas, donde la cámara séptica se transforma en un depósito de dos compartimentos. En el superior se efectúa la separación sólido líquido y en el inferior se digieren los sedimentos. Existen varios tipos, como son el tanque Imhoff, Kremer o Clarigester, entre otros, pero todos tienen la misma base. Este sistema es adecuado para poblaciones menores de 1000 h e. pero presenta el inconveniente de la extracción de sólidos y el peligro de colmatación.

### *Sistema de filtros verdes.*

Se basan en la utilización de una superficie de terreno sobre la que se establece una o varias especies vegetales y a la que se le aplica el agua residual a tratar. El agua influente deberá someterse a un proceso de pretratamiento, si bien se puede limitar a un desbaste mediante rejillas.

La selección del cultivo es fundamental, ya que debe ser de rápido crecimiento, tener una gran capacidad de asimilación de nutrientes, tolerante a suelos húmedos y escasa sensibilidad al agua residual. En base a estos requisitos, la especie más utilizada suele ser el chopo.

La depuración de las aguas residuales aplicadas al suelo es un proceso aerobio y tiene lugar en una capa biológicamente activa cuya profundidad no rebasa 1,2 m. Las aguas sufren un doble proceso: un filtrado (que retiene los SS) y un proceso biológico similar al de los lechos bacterianos.

Los rendimientos que se alcanzan están condicionados por la naturaleza del terreno donde se asienta la plantación pero, por término medio, son altos (90 – 95% de eliminación de DBO y SS).

Las principales ventajas de este sistema son:

- No necesita personal especializado.
- No se producen lodos.
- Se puede obtener beneficio económico por venta de la madera.
- Se integra perfectamente en el medio rural.

Sin embargo, también se deben enumerar sus inconvenientes:

- Se necesita una gran superficie de terreno.
- No es aplicable en todos los tipos de terreno. Se necesita tierras con determinada capacidad de infiltración.

- Existe peligro de contaminación de acuíferos cercanos en caso de terrenos permeables.
- No debe aplicarse en terrenos de fuerte pendiente.
- Presenta problemas de olores.

#### *Sistema de infiltración.*

La infiltración de los efluentes de pequeños núcleos (de hasta 5000 h e) se suele hacer en zanjas superficiales abiertas, en drenes subterráneos o en pozos filtrantes. El agua residual se aplica al terreno, bien por extensión en lagunas o por aspersión, alternando periodos de inundación con periodos de secado. Los terrenos utilizados son altamente permeables: arenas, limos y arenas limosas, con una capacidad de infiltración que oscila entre los 10 y los 60 cm diarios y, generalmente, no se utiliza vegetación.

Por medio de este sistema se consigue la recarga artificial de acuíferos, y la posterior reutilización del agua tratada, recuperando el agua por medio de zanjas o pozos. Como inconveniente se citarían los problemas de colmatación.

#### *Escorrentía superficial.*

Es un proceso en el que el efluente se vierte sobre un terreno con pendiente adecuada y sembrado de plantas acuáticas emergentes. Las aguas discurren por la superficie del terreno de baja permeabilidad y son recogidas en un canal o cauce inferior.

La depuración se debe a efectos de asimilación de la vegetación, actividad microbiológica, evaporación y, en menor medida, en la infiltración en el terreno.

Es un sistema apto para poblaciones menores de 2000 h e, y necesita pendientes del orden del 5%, además de una gran superficie. Los rendimientos alcanzan el 80% en DBO<sub>5</sub> y el 70% en SS.

#### *Lechos de turba.*

Este sistema se basa en la filtración del agua residual a través de un lecho de turba de determinadas características, que está asentada sobre un sistema drenante de arena y grava. El agua residual, que ocupa un espesor de unos 20 cm sobre la turba, se filtra a través de dicha capa, durante unos 10 días, siendo necesaria la retirada de la costra que se ha formado en la superficie de la turba.

La turba es un material carbonatado de materia vegetal. Su mayor o menor mineralización en condiciones de exceso de agua y de falta de oxígeno da origen a los diferentes tipos de turba.

Una variante de este sistema serían los filtros de arena, que tienen un funcionamiento similar al terreno. La depuración consiste en la retención de los sólidos en suspensión y un proceso biológico similar al de los lechos bacterianos. Está indicado para pequeños núcleos.

Se consiguen rendimientos de un 80% en DBO<sub>5</sub> y de un 85 - 90% en SS. Este sistema se aplica para poblaciones que abarcan un rango comprendido entre 500 y 5000 h e.

Las principales ventajas de este sistema son:

- No necesita energía.
- Funcionamiento independiente de la temperatura.
- Explotación y mantenimiento sencillo.
- Adaptable a variaciones de carga y caudal.

Entre sus inconvenientes se pueden destacar los siguientes:

- Los gastos de mantenimiento y explotación son análogos a los sistemas convencionales.
- Gasto de la turba.
- Aunque la turba es un material natural, ésta debe tener unas especificaciones concretas para un correcto funcionamiento.
- Exige más superficie que los procesos convencionales de depuración secundaria.
- Intermitencia en el funcionamiento.

#### *Sistemas de lagunaje.*

Son sistemas de depuración que se pueden asimilar a procesos biológicos intermedios entre la autodepuración en cauces receptores y el proceso de fangos activos, al que se llegaría con lagunajes aireados artificialmente, teniendo prevista la recirculación de fangos. Lo que se pretende con este sistema es la máxima captación de oxígeno por superficie y por acción fotosintética.

El tratamiento consiste en el almacenamiento de las aguas residuales durante un tiempo variable en función de la carga aplicada y las condiciones climáticas. Como la presencia de oxígeno es la que determina los tipos de mecanismos responsables de la depuración, los estanques de estabilización suelen clasificarse en anaerobios, facultativos y aerobios o de maduración.

### **Lagunas anaerobias.**

La depuración ocurre por acción de bacterias anaerobias. Como consecuencia de la elevada carga orgánica y el corto periodo de retención del agua residual, el oxígeno disuelto se mantiene muy bajo o nulo durante todo el año. El objetivo perseguido es retener la mayor parte posible de los sólidos en suspensión, que pasan a incorporarse a la capa de fangos acumulados en el fondo, y eliminar parte de la carga orgánica.

Operan en mejores condiciones si se disponen en paralelo, dando una mayor flexibilidad a la planta. Tienen un tiempo de retención de 2 a 5 días y se limpian cada 3 – 6 años. Los rendimientos son variables, oscilan entre un 50 y un 80% de DBO<sub>5</sub> y en cuanto a los sólidos en suspensión, se consiguen rendimientos entorno al 70%.

### **Lagunas facultativas.**

Poseen una zona aerobia y otra anaerobia, situadas respectivamente en superficie y fondo. Se puede encontrar cualquier tipo de microorganismos, desde anaerobios estrictos en el fondo a aerobios estrictos justo debajo de la superficie, pero los seres vivos más adaptados serán los microorganismos facultativos, que podrán sobrevivir en las condiciones cambiantes de este entorno.

El objetivo es obtener un efluente de la mayor calidad en el que se haya alcanzado una elevada estabilización de la materia orgánica y una reducción en el contenido de nutrientes y coliformes.

Al igual que en las anaerobias, una disposición en paralelo confiere una mayor flexibilidad al sistema. La profundidad oscila entre 1 y 2 m y la forma es irregular, con el fin de evitar la formación de corrientes preferenciales, orientada de manera perpendicular a los vientos dominantes. Estos sistemas son aptos hasta 3000 h e.

### **Lagunas aerobias o de maduración.**

El objetivo es conseguir un efluente de buena calidad mediante eliminación de patógenos. También se consigue la eliminación de nutrientes y la clarificación del efluente.

Las lagunas de maduración, también conocidas como lagunas de oxidación o aerobias, funcionan con mayor rendimiento a alta temperatura, mayor pH e intensidad luminosa. Se consideran como un tratamiento terciario en el proceso de depuración.

Como los tres tipos de lagunas anteriormente expuestos requieren niveles decrecientes de carga orgánica para funcionar correctamente, las plantas de tratamiento suelen estar constituidas por los tres tipos de estanques operando en serie y paralelo (lagunaje completo), alcanzándose, de esta forma, una mayor calidad del efluente final: reducciones de DBO<sub>5</sub> alrededor del 90%, de SS entre el 70 y el 80% y en coliformes más del 90%.

El sistema de depuración de las aguas residuales por lagunaje se suele concebir como una serie de depósitos, que se denominan:



- Primarios: de aguas residuales brutas o bien a continuación de un pretratamiento.
  
- Secundarios: reciben las aguas de los depósitos anteriores, trabajando a un nivel de depuración secundaria.
  
- De maduración: su misión fundamental es la reducción de microorganismos patógenos (depuración terciaria).

Cuando se propone como sistema de depuración el lagunaje facultativo, éste es similar al lagunaje completo pero sin contar con las lagunas de maduración (no existe tratamiento terciario).

Otro tipo de lagunaje es el formado por las lagunas aireadas, que consta de un estanque de 2 - 3 metros de profundidad dividido en una zona de aireación y otra de sedimentación, entre las que, generalmente, no se produce recirculación de fangos. El oxígeno es suministrado en el estanque por medio de aireadores de superficie o mediante difusores. La diferencia con las anteriores estriba, sobre todo, en la necesidad de energía y en la menor superficie requerida. Las lagunas aireadas se aplican a poblaciones superiores a los 5000 h e, llegando hasta los 15000 h e.

En todos los casos, el fondo de las lagunas de estabilización debe estar impermeabilizado, con el fin de no contaminar acuíferos próximos a la instalación, excepto en aquellas circunstancias en que las características del terreno permitan prescindir de ello.

Algunas ventajas del proceso de lagunaje son las siguientes:

- Altos rendimientos en DBO, SS, nutrientes y patógenos.

- Permiten regular y almacenar agua, que por sus características son aptas para riegos.
- La retirada de fangos se realiza cada 5 -10 años, dependiendo del agua residual.
- Pueden admitir grandes variaciones en el caudal y la carga, con pequeña influencia en la calidad del efluente.
- Requieren bajos costes en la explotación y mantenimiento, por la ausencia o mínimas necesidades en maquinaria y personal.

Entre los inconvenientes cabe destacar:

- Necesitan grandes superficies de terreno.
- Pérdida de agua por evaporación.
- Aguas depuradas con elevada concentración de materias en suspensión.
- Una vez construido tiene dificultad para modificar las condiciones del proceso ante cambios en las condiciones meteorológicas.
- Olores e insectos.

#### *Sistemas de lechos bacterianos.*

Se trata un proceso en el cual la biomasa bacteriana forma una biopelícula sobre un medio soporte fijo. El agua residual y el aire circulan libremente a través de los huecos que existen entre el material soporte. Los organismos presentes en la biopelícula oxidan la materia orgánica que toman del agua residual, valiéndose del aire que circula a su través.

Constan de cubas donde se coloca un relleno con gran superficie específica y elevada porosidad, sobre el que se desarrolla la película biológica. El agua a tratar se distribuye por la parte superior del filtro mediante un mecanismo rotativo si el lecho es circular, o distribuidores fijos o móviles en caso de lechos rectangulares, y al percolar a través del lecho se va depurando. Los organismos obtienen el oxígeno necesario para el proceso del aire que circula a través del relleno. La ventilación puede ser natural o forzada.

La masa filtrante debe tener la mayor superficie posible para tener la mayor densidad de película biológica. Así mismo, a medida que la materia orgánica es degradada por las capas superficiales, ocasiona que los microorganismos que forman las capas más internas, se encuentren en la fase endógena de crecimiento, en la que pierden su capacidad de adherirse a la superficie del medio. Esto provoca que toda la película se desprenda en el momento en el que el agua pasa a través del medio, para dar lugar al crecimiento de otra nueva. La carga hidráulica origina las velocidades de arrastre y la carga orgánica influye en la velocidad del metabolismo de la película. En base a esto los filtros se dividen en *lechos bacterianos de baja y alta carga* (en alta carga es preciso recircular).

Las alturas varían, siendo la más usual la de 2 m. El material de relleno es variado, pudiéndose encontrar piedra silíceo o material artificial, entre otros. El tamaño de partícula suele estar comprendido entre 2,5 cm y 10 cm.

Para lograr una depuración correcta, es necesario un proceso previo de maduración del lecho, consistente en el desarrollo de la película biológica.

La línea de tratamiento de una planta de depuración de lecho bacteriano consta de un pretratamiento, decantador primario, lecho bacteriano y decantador secundario con recirculación del efluente final o del efluente del propio lecho.

Alcanzan un rendimiento del 90% en  $DBO_5$ . Los de baja y media carga tienen buen rendimiento para poblaciones menores de 2000 h e; los de alta carga tienen un rango óptimo de aplicación en poblaciones superiores a los 6000 h e.

Como ventajas se tienen:

- No consume energía eléctrica por la aireación, si es natural.
- Instalación más barata que la de fangos activos.
- Pocos equipos, sencillos y de gran duración.
- Resiste bien una relación  $DBO/DQO$  baja.
- Soporta pequeñas concentraciones de metales pesados, algo más que los fangos activos.
- Fácil explotación y mantenimiento.
- Consumen poca energía, poco más que los biodiscos.
- Mayor facilidad de sedimentación de los flóculos, por ser más grandes, que en los fangos activos.

Entre sus inconvenientes se encuentran los siguientes:

- El dimensionamiento debe realizarse con mucha precisión.
- La construcción del falso fondo y entrada del aire debe realizarse con precisión.
- Ocupa mayor extensión que los fangos activos.

- Los olores por inversión térmica son un problema frecuente, lo que indica la existencia de condiciones anaerobias en el lecho por falta de aire. Esto conlleva a la obligación de conocer la dirección del viento y la distancia a las viviendas.
- Aparición de moscas en determinados periodos del año.
- Problemas climáticos a temperaturas frías; por debajo de 10 – 12 °C se produce una caída del rendimiento.
- Necesidad de material de soporte especial.

#### *Sistema de contactores biológicos rotativos (CBR)*

El proceso consiste en una serie de discos (de 3 m de diámetro y 1,5 mm de espesor) que giran en torno a un eje horizontal, situados dentro de un recipiente de agua residual. Los discos giran lentamente (1 – 4 r.p.m.), manteniendo un 40% de su superficie sumergida. Sobre el soporte se desarrolla gradualmente una película de biomasa bacteriana, que emplea como sustrato para su metabolismo la materia orgánica soluble presente en el agua residual. Cuando la superficie del disco se encuentra en contacto con el aire, la biomasa toma el oxígeno necesario para que durante el periodo de inmersión se produzca la degradación de la materia orgánica. Aproximadamente el 95% de la biomasa se encuentra adherida y el resto en suspensión.

El espesor de la película bacteriana activa oscila entre 0,2 mm y 3 mm, dependiendo de la concentración y se suele regular por la velocidad de giro. El crecimiento bacteriano continúa hasta que alcanza tal espesor que la difusión de oxígeno queda dificultada en las capas más profundas, entrando en fase de respiración endógena y produciendo burbujeo y fermentación; por la rotación del disco, se produce desprendimiento y comienza a crecer una nueva película, así indefinidamente.

Se aplica para tratamiento de aguas residuales procedentes de poblaciones comprendidas entre los 2000 y 20000 h e. En la actualidad existen tres tipos de contactores biológicos rotativos: biodiscos (constituidos por una batería de discos en paralelo), biocilindros (malla cilíndrica rellena de trozos de tubos de material plástico) y por último los rotores de espiral.

La línea de tratamiento en una planta de depuración C.B.R. consta de un pretratamiento, decantador primario, contactores biológicos rotativos y decantador secundario. Es conveniente la instalación de varios paquetes de contactores dispuestos en serie para la previsión de averías. Con estos sistemas se puede conseguir, aparte de la degradación de la materia orgánica, la nitrificación del efluente aumentando la velocidad de giro del soporte.

Son sistemas que requieren poca superficie de terreno, entre 0,5 y 0,7 m<sup>2</sup>/hab, y alcanzan rendimientos que rondan el 80% de DBO<sub>5</sub> y entre el 70 y 90% de SS.

Las principales ventajas de este sistema son:

- Sencillez de funcionamiento.
- Buena respuesta ante tóxicos.
- No es necesaria la recirculación de fangos del decantador secundario a la zona biológica al ser suficiente la concentración de biomasa bacteriana que se halla adherida al soporte.
- Bajo coste de mantenimiento.
- Menor consumo de energía en zonas llanas.

Por el contrario, los inconvenientes más notables son los siguientes:

- Alto gasto de inversión inicial.
- Necesidad de material soporte especial.
- Necesidad de cubrir los C.B.R. para protegerlos de las inclemencias del tiempo.
- Necesidad de un diseño mecánico riguroso.
- Montaje complicado.

#### *Sistema de fangos activos.*

El sistema de fangos activos se basa en los flóculos activados. Hasta cierto punto se trata de un proceso de autodepuración reforzado artificialmente. Se hace pasar el agua residual por un reactor donde se mantiene un cultivo bacteriano aerobio en suspensión. El oxígeno es suministrado por medio de difusores o aireadores mecánicos que, a su vez, sirven para mantener el líquido en un régimen próximo a mezcla completa, además de evitar la caída de las masas floculentas al fondo donde morirían por falta de oxígeno.

Las técnicas de aireación pueden dividirse en tres grupos:

- Con aire comprimido (grandes burbujas, tubos sumergidos, etc,,).).
- Con medios mecánicos (cepillos rotativos, turbinas, agitadores rotativos,...).

- Medios mixtos.

Es un proceso en dos fases: tras un periodo de retención en el reactor, donde una parte de la materia orgánica se oxida para obtener energía y nueva masa celular, las bacterias se apelotonan en flóculos, pasando a un decantador donde se separan por sedimentación del agua residual tratada. Una parte de estos flóculos es recirculada para mantener la concentración de microorganismos en el reactor, mientras que el resto se extrae y se evacua hacia el tratamiento de fangos.

La línea de agua del proceso típico sería, por tanto: pretratamiento, decantador primario, reactor biológico, decantador secundario y una línea de retorno de fangos desde el decantador secundario.

En la línea de tratamiento de fangos se mezclan tanto los fangos primarios, que son los sólidos sedimentados en el decantador primario, como los que proceden del proceso biológico y sedimentan en el decantador secundario. El fango pasa por una serie de etapas en su tratamiento: espesamiento, estabilización (mediante digestión anaerobia, aerobia, estabilización química, tratamiento térmico, etc...) y deshidratación (mediante lechos de secado, centrifugación, filtración, etc...).

Una vez que el fango ha pasado por las fases anteriores de tratamiento hay que proceder a su evacuación final, existiendo varias alternativas: descarga en vertederos o relleno de tierra, uso agrícola, incineración, etc....

Otra alternativa a adoptar como solución en la gestión del fango que no se recircula al reactor biológico, será la de entregarlo a un gestor autorizado.



Los distintos sistemas de fangos activos pueden clasificarse en relación con la carga másica, obteniendo así sistemas de fuerte, mediana o pequeña carga másica ( $C_m > 0,4$  ,  $0,2 < C_m < 0,4$  ,  $C_m < 0,2$ ). Se define la carga másica como la carga diaria de materia orgánica contaminante del agua residual (expresada como Kg de  $DBO_5$ ) por unidad de masa de sólidos suspendidos totales en el reactor biológico.

En el proceso de fangos activos se consiguen reducciones del orden del 90% de  $DBO_5$  y el 95% de SS. Es un proceso muy flexible y que puede adaptarse a casi cualquier tipo de problemas relacionados con el tratamiento biológico de aguas residuales.

#### Modificaciones del proceso

**Sistema convencional:** El intervalo de valores que se manejan son los siguientes:

- Tiempo de retención: entre 4 y 8 horas.
- Carga másica entre 0,2 y 0,4.
- Carga volúmica entre 0,32 y 0,64.

La recirculación se realiza en un solo punto, a la entrada del agua en el tanque, y la mezcla va recorriendo el tanque en un flujo aproximado al flujo en pistón. Indicado en poblaciones mayores de 10000 h e.

Las ventajas del proceso convencional de fangos activos son las siguientes:

- Se adapta mejor a las variaciones de volumen estacional que el lecho bacteriano, ya que se pueden variar mejor sus condiciones de trabajo por utilizar un sistema artificial de inyección de aire.
- La ocupación de superficie es menor.
- No presenta problemas de olores.

En contraposición, los inconvenientes que presenta este sistema son los siguientes:

- Mantenimiento y explotación por personal especializado.
- Mayor número de equipos y consumo de energía eléctrica.
- Es más sensible a las oscilaciones de caudal y carga que los lechos bacterianos.
- No soporta bien la presencia de metales pesados.
- No aguanta relaciones DBO/DQO bajas.
- Precisa recirculación desde el decantador secundario.

**Aireación prolongada:** es un sistema de fangos activos donde la biomasa se encuentra en respiración endógena; es decir, que la edad del fango es lo suficientemente alta, como para que la concentración del substrato sin asimilar sea baja y, por tanto, se trabaje con cargas másicas bajas (0,05 y 0,15). Los tiempos de retención son, por tanto, elevados (16 – 24 h). Se utilizará este sistema para núcleos de población menores de 15000 h e.

Las ventajas más destacadas de este proceso son las siguientes:

- Supresión del decantador primario.
- Se producen menos fangos.
- Depuradoras fáciles de construir.
- Costes de explotación bajos.
- Ocupa poca superficie.

Pero presenta el inconveniente de su alto consumo energético.

También existen otros procesos, como son los de aireación graduada, reactor de mezcla completa, contacto y estabilización, aireación de alta carga y oxigenación total, entre otros.

#### *Sistemas de tratamientos químicos.*

El tratamiento físico – químico consiste en la sedimentación de las partículas floculadas empleando coagulantes y coadyudantes. La decantación física consiste en la reducción de sólidos producida por sedimentación física de productos decantables, mientras que el proceso físico químico logra flóculos decantables por la adición de coagulantes.

Los rendimientos son escasos, siendo difícil superar reducciones en DBO<sub>5</sub> mayores del 55%. El consumo de reactivos oscila entre 90 y 250 mg / l, cuyo coste, unido al del control permanente de la dosificación por técnicos especialistas, obliga a descartar el sistema en pequeñas poblaciones que no tengan un grado de industrialización alto.

## **5.- VIABILIDAD DEL PROYECTO.**

### **5.1.- Viabilidad Legal.**

El principal problema de la legislación vigente radica en que los requerimientos impuestos en la depuración de las aguas residuales son parciales e insuficientes.

Respecto a los vertidos urbanos, las exigencias resultan impuestas por la Directiva del Consejo 91/271/CEE, de 21 de mayo y completadas por una nueva Directiva del Consejo, la 98/15/CE, de 27 de febrero, que modifica a la anterior. Estas Directivas dictan las características mínimas en la estima del tratamiento del vertido pero son insuficientes, ya que el vertido debe cumplir con las condiciones establecidas de calidad, en función de los usos de las aguas del cauce receptor; por tanto, se debería exigir el cumplimiento de otras instrucciones de la UE en relación con la calidad de las aguas, dependiendo del uso de las mismas.

Respecto a vertidos industriales sobre una red municipal, resulta muy difícil controlar dichos vertidos. Para subsanar este problema, que se acentúa en pequeños municipios, existen dos posibles soluciones:

- En caso de vertidos directos al cauce receptor, establecer sistemas de depuración adecuados al entorno y a las posibilidades de autodepuración. De todas maneras, siempre se tenderá a ir a la depuración conjunta de los vertidos industriales y urbanos.

- En caso de vertidos conjuntos, los Ayuntamientos deberán considerar adecuadamente la responsabilidad asumida en la admisión de vertidos de su red. Para paliar esta dificultad, grave en pequeños municipios, se estableció la O.M. de 23 de diciembre de 1986, donde en caso de industrias conectadas a la red de alcantarillado deberán tener autorización individual de sus vertidos en municipios de menos de 20000 habitantes, a excepción de que el Ayuntamiento asuma expresamente la responsabilidad.

### **5.1.1 Normativa comunitaria aplicable.**

La normativa aplicable se plasma en las Directivas del Consejo:

- Directiva del Consejo de 16 de junio de 1975 relativa a la calidad requerida para las aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable en los Estados miembros (75/440/CEE)

- Directiva del Consejo, de 8 de diciembre de 1975, relativa a la calidad de las aguas destinadas a baños (75/160/CEE).

- Directiva del Consejo, de 4 de mayo de 1976, sobre la contaminación causada por ciertas sustancias peligrosas vertidas en el medio acuático de la Comunidad (76/464/CEE).

- Directiva del Consejo, de 18 de julio de 1978, relativa a la calidad de las aguas dulces que requieren protección o mejora para ser aptas para la vida piscícola (78/659/CEE).

- Directiva del Consejo, de 30 de octubre de 1979, relativa a la calidad de para las aguas litorales propicias para el desarrollo de moluscos comestibles (79/923/CEE).

- Directiva del Consejo, de 17 de diciembre de 1979, relativa a la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación causada por ciertas sustancias peligrosas (80/68/CEE).

- Directiva del Consejo (81/855/CEE), de 19 de octubre de 1981, por la que se adapta, con motivo de la adhesión de Grecia, la Directiva 79/869/CEE, relativa a los métodos de medición y frecuencia de los muestreos y del análisis de las aguas superficiales, destinadas a la producción del agua potable en los Estados Miembros.

- Directiva (82/176/CEE), 22 de marzo de 1982, relativa a los valores de límite y a los objetivos de calidad para los vertidos de mercurio del sector de la electrólisis de los cloruros alcalinos.

- Directiva del Consejo (83/513/CEE), de 26 de septiembre de 1983, relativa a los valores límite y a los objetivos de calidad para los vertidos del Cadmio.

- Directiva del Consejo (84/156/CEE), de 8 de marzo de 1984, relativa a los valores límite y a los objetivos de calidad para los vertidos de mercurio en los sectores distintos de la electrólisis de los cloruros alcalinos.

- Directiva del Consejo (84/491/CEE), de 8 de octubre de 1984, relativa a los valores límite y a los objetivos de calidad para los vertidos de hexaclorociclohexano.

- Directiva del Consejo (86/280/CEE), de 12 de junio de 1986, relativa a los valores límite y a los objetivos de calidad para los residuos de determinadas sustancias peligrosas (tetracloruro de carbono, DDT y pentaclorofenol) comprendidas en la lista I del anexo de la directiva 76/464/CEE.

- Directiva del Consejo (86/278/CEE), de 12 de junio de 1986, relativa a la protección del medio ambiente y, en particular, de los suelos, en la utilización de los lodos de depuradora en agricultura.

- Directiva del Consejo (88/347/CEE), de 16 de junio de 1988, por la que se modifica el Anexo II de la Directiva 86/280/CEE sobre los valores límite y objetivos de calidad para los residuos de determinadas sustancias peligrosas (aldrín, dieldrín, isodrín, hexaclorobenceno, hexaclorobutadieno y cloroformo) comprendidas en la Lista I del Anexo de la Directiva 76/464/CEE.

- Directiva del Consejo (90/415/CEE), de 27 de julio de 1990, por la que se modifica el Anexo II de la Instrucción 86/280/CEE relativa a los valores límite y a los objetivos de calidad para los residuos de determinadas sustancias peligrosas (1,2 dicloroetano, tricloroetileno, percloroetileno, triclorobenceno) comprendidas en la lista I del anexo de la directiva 76/464/CEE.

- Directiva del Consejo (91/271/CEE), de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas. (Modificada por la Directiva 98/15/CE de la Comisión de 27 de febrero de 1998)

- Directiva del Consejo (91/676/CEE), de 12 de diciembre de 1991, relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en agricultura.

- Directiva 96/91, del 24 de septiembre de 1996, relativa a la prevención y al control integrado de la contaminación (IPPC). DOCE de 10 de octubre de 1996.

- Directiva 98/15/CE de la Comisión de 27 de febrero de 1998 por la que se modifica la Directiva 91/271/CEE del Consejo en relación con determinados requisitos establecidos en su anexo I.

De toda la lista de normativa expuesta anteriormente, en este proyecto se aplicará la Directiva del Consejo (91/271/CEE), de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas. (Modificada por la Directiva 98/15/CE de la Comisión de 27 de febrero de 1998)

### **5.1.2. Normativa española.**

Se destacarán las siguientes normas:

- Real Decreto Legislativo 1/ 2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas.

- Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación.

- Real Decreto 606/2003, de 23 de mayo, por el que se modifica el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los Títulos preliminar, I, IV, V, VI y VIII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas.

- Real Decreto 995/2000, de 2 de junio, por el que se fijan objetivos de calidad para determinadas sustancias contaminantes y se modifica el Reglamento de Dominio Público Hidráulico, aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril.

- Orden de 12 de noviembre de 1987, sobre normas de emisión, objetivos de calidad y métodos de medición de referencia relativos a determinadas sustancias nocivas o peligrosas contenidas en los vertidos de aguas residuales. Ha sido ampliada en su ámbito de aplicación por Orden de 13 de marzo de 1989 y modificada por Orden de 27 de febrero de 1991 y por Orden de 25 de mayo de 1992

- Orden de 8 de febrero de 1988, relativa a los métodos de medición y a la frecuencia de muestreos y análisis de aguas superficiales que se destinen a la producción de agua potable.



- Orden de 11 de mayo de 1988, sobre características básicas de calidad en corrientes de aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable. (BOE nº 124, 24-5-88). Ha sido modificada por Orden de 15 de octubre de 1990 y Orden de 30 de noviembre de 1994.

- Real Decreto 734/88, de 1 de julio, donde se establecen las normas de calidad de las aguas de baño.

- Real Decreto 927/1988, de 29 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Administración Pública del Agua y de la Planificación Hidrológica, en desarrollo de los Títulos II y III de la Ley de Aguas. Modificado por Real Decreto 117/1992, de 14 de febrero, por el que se actualiza la composición del Consejo Nacional del Agua

- Orden de 16 de diciembre de 1988, sobre métodos y frecuencias de análisis o de inspección de las aguas continentales que requieren protección o mejora para el desarrollo de la vida piscícola

- Real Decreto 258/89, de 10 de marzo, sobre normativa general de los Vertidos de sustancias peligrosas desde tierra al mar

- Orden de 13 de marzo de 1989 por la que se incluye en la de 12 de noviembre de 1987, la normativa aplicable a nuevas sustancias nocivas o peligrosas que pueden formar parte de determinados vertidos de aguas residuales.

- Orden de 15 de octubre de 1990, modificación de Orden de 11 de mayo de 1988.

- Orden 13 de julio de 1993, por la que se aprueba la instrucción para el proyecto de conducciones de vertidos desde tierra al mar.

- Orden de 26 de octubre de 1993 sobre utilización de lodos de depuración en el sector agrario.

- Real Decreto 484/1995, de 7 de abril, sobre medidas de regulación y control de los vertidos.

- Real Decreto Ley, 11/1995, de 28 de diciembre, sobre normas aplicables al tratamiento de aguas residuales.

- 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.

- Real Decreto 2116/1998, de 2 de octubre, por el que se modifica 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.

De toda esta lista de normativa expuesta anteriormente, en este proyecto se aplicará la siguiente:

- Real Decreto Legislativo 1/ 2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas.

- Real Decreto 484/1995, de 7 de abril, sobre medidas de regulación y control de los vertidos

- Real Decreto 2116/1998, de 2 de octubre, por el que se modifica 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.

### **5.1.3. Objetivos de calidad. Normativa 91/271/CEE.**

Los objetivos de calidad se han establecido a partir del uso asignado al medio receptor, la sensibilidad del medio e importancia del vertido. En este sentido se recogen los criterios en cuanto a parámetros de calidad establecidos en la Directiva 91/271/CEE, en cuanto han sido modificados por la Directiva 98/15/CE de la Comisión de 27 de febrero de 1998.

Los objetivos de calidad asignados a aguas embalsadas, sin perjuicio de lo que posteriormente dispongan las autoridades competentes, serán los de agua de abastecimiento, por ser su uso más restrictivo en cuanto a calidad de acuerdo a lo establecido en el Real Decreto 606/2003, de 23 de mayo, por el que se modifica el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los Títulos preliminar, I, IV, V, VI y VIII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas.

Los objetivos de calidad recomendados para los vertidos aplicados al riego coincidirán con el estándar recomendado para el riego de los diferentes cultivos, establecidos a partir de los criterios sanitarios recomendados por la Organización Mundial de la Salud (1963) para la reutilización del agua residual.

Los objetivos de calidad para cauces superficiales son los exigibles a las aguas continentales cuando requieran protección o ser aptas para la vida de los peces según el Real Decreto 995/2000, de 2 de junio, por el que se fijan objetivos de calidad para determinadas sustancias contaminantes y se modifica el Reglamento de Dominio Público Hidráulico, aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril.

Los objetivos de calidad asignados a "zonas sensibles" son los requeridos a las zonas catalogadas "sensibles" para aglomeraciones urbanas mayores de 10000 habitantes equivalentes en la Directiva 91/271/CEE según ha sido modificada por la Directiva 98/15/CE.

El núcleo urbano de Medina Sidonia está catalogado como zona sensible, ya que cumple los requisitos necesarios para dicho fin (como se explicará más adelante), además de poseer una población de escasa entidad. En el caso que no sean aplicables los casos anteriores de objetivos de calidad y cuando el rango de población sea acorde con lo especificado en la directiva 91/271/CEE se aplicarán los objetivos de calidad marcados en la tabla 4 (Reglamento de la Ley de Aguas de 1988, Organización Mundial de la Salud ,1963).

<b>PARAMETRO</b>	<b>ZONA PROTEGIDA</b>	<b>AGUA ABASTECIMIENTO</b>	<b>CAUCES/ ACEQUIAS</b>	<b>SUELO</b>
DBO <sub>5</sub> (mgO <sub>2</sub> /l)	25	<3	-	Reducc. 20%
DQO (mg O <sub>2</sub> /l)	125	-	-	-
S.S. (mg/l)	35	25	25	Reducc. 20%
E. Colif. Total (ud./100ml)	-	50	5000	-
P <sub>total</sub> (mg/l)	15	-	-	-
N <sub>total</sub> (mg/l)	2	-	-	-

**Tabla 4. Objetivos de calidad.**

Debido a la importancia de la directiva 91/271/CEE, resulta oportuno incluir un resumen de ésta:

- **Ámbito de la Directiva:**

Afecta a todos los vertidos de aguas residuales procedentes de núcleos urbanos y a los de instalaciones industriales cuyos efluentes sean biodegradables, es decir, que puedan ser depurados con tratamientos semejantes a los de las aguas domésticas. Al mismo tiempo se reglamenta el vertido de los lodos de las depuradoras correspondientes.

- Clasificación de los núcleos de población:

Los vertidos se clasifican según su importancia en función de su población equivalente, es decir, la humana, aumentada en lo que corresponda al censo ganadero y afluentes industriales del núcleo que se trate. Como unidad (habitante - equivalente, h-e), se considera una carga vertida de 60 g de DBO<sub>5</sub> al día. Con este criterio se consideran:

1. Núcleos de primer orden:

- Todos los mayores de 10000 h-e.
- Todos los mayores de 2000 h-e, que viertan en aguas continentales.

2. Núcleos de segundo orden:

- Todos los menores de 2000 h-e.
- Todos los menores de 10000 h-e que vierten en aguas marítimas.

- Tipo de depuración exigido:

1. Los núcleos de primer orden deben ser dotados de tratamiento primario y secundario, de forma que se respeten las exigencias de la tabla 5 (Aurelio Hernández, 1997) (Ley 11 / 1995). Se entiende por tratamiento primario aquel que se realiza mediante un proceso físico y/o químico que incluya la sedimentación de sólidos en suspensión, u otros procesos en los que la DBO<sub>5</sub> de las aguas residuales que entren se reduzca por lo menos en un 20% antes del vertido y el total de sólidos en suspensión en las aguas residuales de entrada se reduzca por lo menos en un 50%. El tratamiento secundario, consiste en un proceso que incluye, por lo general, un tratamiento biológico con sedimentación secundaria, u otro proceso en el que se respeten los requisitos de la Directiva 98/15/CE.

2. Los núcleos de segundo orden dispondrán, en general, de alcantarillado con un tratamiento apropiado para que las aguas receptoras puedan cumplir los objetivos de calidad que les hubieran sido asignados.

<b>Características exigidas a vertidos depurados</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Concentración</b>	<b>Reducción %</b>
DBO <sub>5</sub> sin nitrificación	25 mg/l O <sub>2</sub>	70-90
DQO	125 mg/l O <sub>2</sub>	75
SS	35 mg/l	90

**Tabla 5. Características exigidas a los vertidos depurados**

- Zonas especiales:

1. Zonas sensibles: las de aquellos lagos, masas de agua dulce, estuarios o aguas costeras eutrofizadas o en peligro de estarlo, o bien son origen de abastecimiento humano con riesgo de sobrepasar la carga admisible de nitratos. Los vertidos a estas zonas deberán disponer de un tratamiento específico para la reducción del nitrógeno y del fósforo, según los límites que figuran en la tabla 6 (Aurelio Hernández, 1997) (Ley 11 / 1995).

<b>Reducción adicional en zonas sensibles:</b>		
<b>PARÁMETRO</b>	<i>Concentración</i>	<b>REDUCCIÓN %</b>
Fósforo total	2 mg/l	80
Nitrógeno total	15 mg/l	70-80

**Tabla 6. Requisitos exigidos a los vertidos a zonas sensibles.**

2. Zonas menos sensibles: las aguas marinas que no han de experimentar efectos negativos por los vertidos debido a sus condiciones peculiares. En estas zonas, los núcleos menores de 150000 h-e podrán limitar a un sistema primario el tratamiento del vertido, justificando su idoneidad.

- Aguas industriales:

Todos los vertidos industriales a colectores de saneamiento urbano deberán ser reglamentados y, en su caso autorizados, a fin de no perturbar el funcionamiento de las depuradoras ni contaminar sus lodos.

Existe un listado de vertidos industriales biodegradables, por sectores a quienes afecta esta Directiva en sus vertidos directos. Tales vertidos deben ser reglamentados especialmente por la Administración, con supervisión comunitaria.

Sectores industriales:

- Procesado de la leche.
- Manufacturas de fruta y verdura.
- Manufactura y embotellado de bebidas dulces.
- Procesado de patatas.
- Industrias cárnicas.
- Cerveza.

- Alcohol y bebidas alcohólicas.
- Granjas.
- Gelatinas y gomas de origen animal.
- Industrias del pescado.
- Lodos de depuración:

Su utilización o depósito debe reglamentarse en cada estado, prohibiéndose su vertido a aguas continentales o marinas superficiales.

## 5.2 Viabilidad Técnica.

### 5.2.1. Estado actual de la infraestructura hidráulica.

#### a) RED DE ABASTECIMIENTO.

El Embalse de los Hurones es quien abastece a la ciudad de Medina Sidonia. El agua es tratada en el término municipal de Paterna de la Rivera.

Esto es típico de la provincia de Cádiz, ya que el 80,5 % de la población se abastece de esta manera. El tratamiento del agua se lleva a cabo mediante cloración, dando como resultado una calidad del agua muy buena.

En la tabla 7 se pueden ver datos tomados de la empresa que gestiona la distribución de agua potable en el núcleo urbano

<i>CONCEPTO</i>	<i>UNIDAD</i>	<b>RESULTADOS</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>RESULTADOS</b>
		<b>1995</b>	<b>1996</b>	<b>1997</b>
Volumen captado	m <sup>3</sup>	635,343	689,459	735,864
Volumen distribuido	m <sup>3</sup>	635,343	689,454	735,864

**Tabla 7. Gestión del agua de Medina.**



En general, el estado de la red de abastecimiento es bueno, ya que en épocas anteriores las sequías originaban fugas que eran muy perjudiciales para el consumo de la ciudad. Esto originó que se pusiera especial cuidado en los puntos más delicados de la red de distribución.

#### *b) RED DE SANEAMIENTO.*

El sistema de saneamiento consta de una red ramificada unitaria compuesta de colectores de PVC en un 90% y hormigón en un 10%. Los diámetros de colectores varían entre 200 y 600 mm. La red se conserva en condiciones normales, aunque existen fugas a plena carga, sobre todo en épocas de fuertes lluvias. La posible solución que se puede aplicar es la sustitución de la zona de hormigón, en peor estado, por PVC.

Existen 5 puntos de vertido distribuidos de la siguiente forma:

- Vertido de Cementerio; cuenca del río Barbate (S - SE).
- Vertido de Tejar; cuenca del río Iro (E - O).
- Vertido de Zapata; cuenca del río Iro (E - O).
- Vertido de Azocarrem; cuenca del río Iro (E - O).
- Vertido de Nuestra Señora de la Salud; cuenca del río Iro (E - O).

El vertido de las aguas negras sin control produce muchos problemas en dichas cuencas. Se producen erosión de tierras, inundaciones de fincas y movimientos de laderas. Por otro lado, existe peligro de contaminación de las aguas subterráneas.

### **5.2.2. Viabilidad técnica de los diferentes sistemas posibles.**

En el apartado 4 se exponían los diferentes sistemas entre los que se podría optar para la construcción de esta EDAR. En este apartado se analizarán las singularidades técnicas de cada uno de ellos y las consecuencias que la utilización de las mismas acarrearía, desde un punto de vista técnico.

Para llegar a la selección de un sistema determinado de depuración es preciso considerar todos los sistemas anteriormente expuestos. Con los datos disponibles se desechan aquellos que claramente no sean favorables a las condiciones debido a rendimientos alcanzados, población, etc... Se estudiarán más detalladamente aquellos sistemas en los que la posibilidad de aplicación a las condiciones actuales no resulte tan evidente. Es decir, lo primero será determinar los sistemas de depuración que merece la pena analizar en profundidad.

Desechado de antemano el tratamiento físico químico debido a la nula idoneidad de este proceso para poblaciones de pequeño tamaño muy poco industrializadas, se procederá ahora a determinar cuáles de los sistemas anteriormente expuestos serán objeto de una comparativa más exhaustiva, descartando al resto por diversas razones.

El fundamento principal serán los límites recomendados de uso según población, los rendimientos alcanzados, la superficie necesaria, los costes de la primera instalación, el mantenimiento, la explotación y los parámetros ambientales de funcionamiento.

Los cuatro primeros condicionantes tienen una importancia fundamental a la hora de eliminar alternativas de depuración de las aguas residuales, ya que están sustentadas por la experiencia. Respecto a las condiciones de funcionamiento se admitirá cierta flexibilidad.

Uno de los factores que más puede condicionar la selección es la situación y características del emplazamiento, ya que no todos los sistemas pueden ser viables en el emplazamiento destinado para esta EDAR, debido a las limitaciones de superficie para minimizar el movimiento de tierras.

Existen distintos tipos de tratamiento según el índice de población, como se recoge en la tabla 8 (Aurelio Hernández, 1997):

<b>SISTEMA DE TRATAMIENTO</b>	<b>POBLACION</b>
Fosa séptica	< 300 hab.
Tanque Imhoff	< 500 hab.
Tanque decantador – digestor	< 1000 hab.
Filtros verdes	-
Sistema de infiltración	< 5000 hab.
Escorrentía superficial	< 2000 hab.
Lechos de turba	< 5000 hab.
Sistema de lagunaje anaerobio	< 2000 hab.
Sistema de lagunaje facultativo	< 3000 hab.
Sistema de lagunaje de maduración	< 15000 hab.
Lechos bacterianos de baja y media carga	< 2000 hab.
Lechos bacterianos de alta carga	> 6000 hab.
Contactores biológicos rotativos	2000 - 20000 hab.
Sistema de fangos activos	> 10000 hab.

**Tabla 8. Tipos de tratamiento según el índice de población.**

Si se atiende al criterio de la población se ve que son pocos los sistemas que se ajustan a las necesidades de la depuradora objeto de estudio, pero se debe recordar que la preselección se basa en varias características. Para la superficie necesaria se tiene la tabla 9 (Aurelio Hernández, 1997):

<b>SISTEMA DE TRATAMIENTO</b>	<b>SUPERFICIE (M<sup>2</sup>/HAB)</b>
Fosa séptica	0,1 – 0,5
Tanque Imhoff	0,05 – 0,1
Tanque decantador – digestor	-
Filtros verdes	12 – 110
Sistema de infiltración	2 – 22
Escorrentía superficial	5 – 15
Lechos de turba	0.6 – 1
Sistemas de lagunajes	1 – 20
Lechos bacterianos	5 – 7
Contactores biológicos rotativos	5 – 7
Sistema de fangos activos	0,16 – 0,3

**Tabla 9. Superficie necesaria según el tratamiento empleado.**

Para poder comparar mejor la superficie que es necesaria, según el tratamiento a adoptar en una población pequeña, se verá, en la tabla 10 (Aurelio Hernández, 1997), que las mejores opciones la dan los fangos activos y los biodiscos:

<b>SISTEMA DE TRATAMIENTO</b>	<b>RATIO DE SUPERFICIE</b>
Lagunaje natural	47,8
Lagunaje aireado	11,3
Decantación – digestión – lagunaje natural	18
Decantación – digestión – lagunaje aireado	4,2
Biodiscos – Lechos bacterianos	1
Fangos activos	1
Fangos activos – oxidación prolongada	1

**Tabla 10. Ratio de superficie.**

En cuanto a los rendimientos medios que se alcanzan se tienen los datos reflejados en la tabla 11 (Aurelio Hernández, 1997):

SISTEMA DE TRATAMIENTO	RENDIMIENTO	
	% DBO	% SS
Fosa séptica	30 –40	50
Tanque Imhoff	30 - 40	60
Tanque decantador	< 70	60
Filtros verdes	90 -95	90 – 95
Sistema de infiltración	90	90
Escorrentía superficial	80	70
Lechos de turba	80	85 – 90
Sistema de lagunaje anaerobio	50 - 80	70
Lechos bacterianos de baja y media carga	90	90
Lechos bacterianos de alta carga	90	90
Contactores biológicos rotativos	80	70 – 90
Sistema de fangos activos	90	95

**Tabla 11. Rendimientos medios.**

Respecto a la facilidad para la ejecución de la obra, los que presentan mayores inconvenientes son los lagunajes, lechos de turba, sistemas de filtración, y en general cualquier sistema que necesite grandes movimientos de tierra. Los sistemas de fangos activos y lechos bacterianos (y casi todas sus variantes) ofrecen más facilidades para su construcción.

Dentro de los parámetros ambientales, la temperatura influye de mayor manera en lagunajes, condicionando el rendimiento del sistema. Hay otros como los lechos de turba en donde influyen poco. Respecto a los sistemas convencionales, tiene una influencia media, acusando más la variación de temperatura los lechos bacterianos.

En cuanto a la producción de fangos, los sistemas de infiltración y los aplicados al terreno tienen una ausencia de producción de fangos, mientras que en otros sistemas, el hecho de que puedan almacenarse durante años tiene la contrapartida del gasto a la hora de retirarlos (tanque Imhoff). Los tratamientos convencionales tienen una producción intermedia, estando dentro de éstos los lechos bacterianos en peor situación que los fangos activos.

### **5.3 Viabilidad Económica.**

Las consecuencias económicas de la selección de uno u otro sistema son uno de los criterios fundamentales que llevan a decantarse por una determinada posibilidad. Por ello, el análisis de la viabilidad económica de las distintas opciones se antoja fundamental.

Respecto a los costes de primera instalación, explotación y mantenimiento, existen grandes diferencias según el sistema de tratamiento adoptado y el tipo de coste del que se esté hablando.

Los costes de primera instalación suelen ser mucho mayores en tecnologías naturales (lagunajes, filtro verde, sistemas subsuperficiales) que en convencionales (fangos activos y lechos bacterianos), pero tienen unos costes de mantenimiento y explotación casi nulos, aunque comparados con los rendimientos alcanzados, hace que sólo sean útiles en poblaciones de pequeño tamaño.

Por otro lado, el sistema de fangos activos tiene un pequeño coste en 1ª instalación, pero se debe tener en cuenta que los costes de mantenimiento y explotación son mayores que los procesos naturales, y presentan cierta complejidad de funcionamiento.

Las valoraciones económicas deben entenderse como orientativas, ya que estimar de entrada un coste unitario por habitante dependerá en gran medida de la zona que se esté tratando.

Por esta razón, los criterios que primarán para la decisión final del sistema de depuración a utilizar serán los rendimientos alcanzados, la facilidad de construcción, la simplicidad de las obras, etc..., siempre que los análisis económicos no den un resultado desorbitado en cuanto a diferencias de costes entre los diversos sistemas.

Por último decir que las tres opciones que, atendiendo a la experiencia, son más viables económicamente son la de lechos bacterianos, fangos activos convencional y aireación prolongada.

## **6.- SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA TÉCNICA MÁS ADECUADA.**

Recapitulando sobre las distintas alternativas técnicas expuestas anteriormente, los siguientes sistemas de tratamiento quedan descartados de la selección final de alternativas por no cumplir en todo o en parte las condiciones adecuadas para Medina Sidonia:

- Fosa séptica.
- Tanque Imhoff.
- Sistema de decantación-digestión.
- Filtros verdes.
- Sistemas de infiltración.
- Escorrentía superficial.

- Lechos de turba.
- Sistemas de lagunajes.

Por tanto, para determinar la solución más adecuada a las condiciones existentes se optará entre los lechos bacterianos, los contactores biológicos rotativos y el sistema de fangos activos, dentro del cual también se añadirá la aireación prolongada como una nueva opción. Las características de estas cuatro alternativas, cumplen en un primer estudio las condiciones existentes, como refleja la tabla 12 (Aurelio Hernández, 1997).

Sistema	Superficie necesaria (m <sup>2</sup> /hab)	Rendimientos (%)		Fangos	
		DBO <sub>5</sub>	SS	Producción (l / m <sup>3</sup> )	Recogida
C.B.R.	0,5 – 0,7	80 - 90	70 - 80	3 - 4	6 meses
Lechos Bacterianos.	0,5 – 0,7	70 - 90	90 - 99	1 - 3	< 6 meses
Fangos Activos	0,16 - 0,3	80 - 95	90 - 99	13.5	< 6 meses
Aireación Prolongada.	0,2 – 0,8	80 - 90	90 - 95	3 - 7	< 6 meses

**Tabla 12. Comparación de características biológicas entre sistemas de tratamiento.**

Una vez adoptadas como alternativas viables los cuatro sistemas de depuración anteriormente mencionados, la decisión final se basará, tanto en una valoración objetiva de carácter matricial como en una comparación detallada de dichos sistemas.

La metodología desarrollada tiene en cuenta criterios de selección que intervienen en la elección del sistema, y que se han valorado objetivamente tanto en lo que concierne al sistema de depuración en sí (por comparación de unos con otros) como en lo referente a las características propias del núcleo urbano de Medina Sidonia.



Por lo tanto, la metodología seguida para la selección del sistema de depuración consta de las siguientes fases:

1. *Valoración matricial de alternativas:* Se trata de obtener una puntuación comparada de las diferentes alternativas de los sistemas de tratamiento anteriormente expuestos para alcanzar el grado de depuración exigible en Medina Sidonia. Para ello, se utiliza una valoración matricial, que considera diferentes factores relativos al futuro emplazamiento y sus características.
2. *Selección de sistemas favorables:* Se trata de reducir al mínimo las alternativas a tener en cuenta. Se lleva a cabo en función de las puntuaciones obtenidas y tras descartar o eliminar aquellos sistemas que no son aplicables en base al nivel de población, el uso actual del agua residual, las características del terreno o la composición química del agua residual.
3. *Elección del sistema propuesto:* Se propone una alternativa de tratamiento, que se considera prioritaria y que suele coincidir con la mejor valorada entre las favorables. Se obtiene en base al conocimiento más directo del núcleo urbano, que permite destacar características especialmente favorables o desfavorables para la implantación de determinado sistema.

La puntuación relativa de los sistemas para la EDAR prevista se obtiene mediante una matriz, que consta de tantas filas como criterios de selección se consideren y tantas columnas como alternativas de sistemas de tratamiento.

NUCLEO	SISTEMAS DE TRATAMIENTO							$V_i$	$P_i$
	1	2	3	4	5	...	j		
1	$a_{11}$	$a_{12}$	$a_{13}$	$a_{14}$	$a_{15}$	...	$a_{1j}$	$V_1$	$P_1$
2	$a_{21}$	$a_{22}$	$a_{23}$	$a_{24}$	$a_{25}$	...	$a_{2j}$	$V_2$	$P_2$
3	$a_{31}$	$a_{32}$	$a_{33}$	$a_{34}$	$a_{35}$	...	$a_{3j}$	$V_3$	$P_3$
4	$a_{41}$	$a_{42}$	$a_{43}$	$a_{44}$	$a_{45}$	...	$a_{4j}$	$V_4$	$P_4$
.	.	.	.	.	.	...	.	.	.
i	$a_{i1}$	$a_{i2}$	$a_{i3}$	$a_{i4}$	$a_{i5}$	...	$a_{ij}$	$V_i$	$P_i$
<b>Valoración total</b>	$\sum_1^i A_{11}$	-	-	-	-	-	$\sum_1^i A_{ij}$		
<b>Valoración final</b>	$A_1$	$A_2$	-	-	-	-	$A_j$		

**Tabla 13. Criterios de selección de sistemas de tratamientos basados en una valoración matricial.**

- $a_{11}...a_{1j}$  Valoración de la aptitud de los sistemas para cada uno de los conceptos considerados.
- $V_1...V_j$  Puntuación del núcleo para cada criterio (factores de ponderación).
- $P_1...P_j$  Peso específico de cada criterio de selección.

- $A_{11}...A_{ij}$  Puntuaciones de cada sistema respecto a cada criterio ( $A_{ij} = a_{ij} \times V_j \times P_j$ ).

$$A_j = \frac{\sum_i a_i \times V_i \times P_i}{\sum_i V_i \times P_i} = \frac{\sum_i A_{ij}}{\sum_i V_i \times P_i}$$

Los criterios considerados son comunes para todos, pero el número de sistemas aplicables variaría según el nivel de depuración exigido. Aunque algunos de los criterios analizados acaban de ser expuestos en los apartados relativos a la viabilidad técnica y económica, se considera adecuado reiterarlos en este punto para hacer así más eficaz la comprensión de los diferentes pasos tomados a la hora de seleccionar la alternativa más adecuada.

En el caso estudiado, el nivel de depuración a alcanzar en Medina Sidonia sería el reflejado en la tabla 15 (Aurelio Hernández, 1997). Los sistemas seleccionados para cumplir los objetivos deseados son básicamente las tecnologías blandas, tecnologías convencionales de bajo coste y tecnologías convencionales, con predominio de éstas últimas.

MEDINA SIDONIA	NIVEL DE ELIMINACION A ALCANZAR (%)		
	DBO <sub>5</sub>	DQO	SS
TRATAMIENTO 1º	20	-	50
TRATAMIENTO 2º	70 – 90	75	90
Características	Núcleo de primer orden ( > 10.000 h e )		
	Catalogada como zona sensible		

**Tabla 14. Nivel de depuración a alcanzar.**

La puntuación de cada sistema para un criterio determinado ( $A_{11}...A_{ij}$ ) es el producto de la valoración del sistema ( $a_{ij}$ ) por la valoración del núcleo para ese criterio ( $V_i$ ) y por el peso específico del criterio ( $P_i$ ). La valoración total de cada sistema es la suma de puntuaciones obtenidas en cada uno de los criterios ( $\sum_1^i A_{ij}$ ). La puntuación final de cada sistema ( $A_j$ ), englobados todos los conceptos y expresada siempre de 0 a 10 se obtiene, por último, mediante la siguiente expresión:

Los criterios de selección fueron expuestos anteriormente al hacer el análisis comparativo de los distintos sistemas de tratamiento. Para la valoración matricial se han considerado también otros factores, relativos tanto al entorno del emplazamiento como a las características propias del sistema, por lo que se tendrán los criterios de superficie, simplicidad de construcción, simplicidad de mantenimiento y explotación, costes de construcción, costes de mantenimiento y explotación, rendimientos, estabilidad térmica, estabilidad a las variaciones de carga y caudal, impacto sobre poblaciones, integración en el entorno, producción y transporte de fangos.

Como se ha comentado anteriormente, la valoración matricial se basa en los pesos específicos de los criterios ( $P_1$  a  $P_j$ ). Estos pesos se puntúan de 1 a 5, de forma que los valores más altos corresponden a los más importantes y mejor conocidos y los más bajos indican una menor importancia relativa o menor objetividad en su valoración. Su asignación final requiere un análisis de sensibilidad del proceso, con diferentes ponderaciones, para elegir la valoración óptima de forma justificada. La asignación de estos pesos específicos se ha llevado a cabo teniendo presente las condiciones existentes, pero resulta de todas maneras el elemento más subjetivo del proceso de valoración. Los pesos asignados se detallan en la tabla 15:

<i>Asignación de pesos</i>	
<b>Criterio</b>	<b>Peso específico (P<sub>i</sub>)</b>
Superficie	5
Simplicidad de construcción	2
Simplicidad de mantenimiento explotación	3
Costos de construcción	3
Costos de mantenimiento y explotación	5
Rendimientos	5
Estabilidad térmica	3
Estabilidad en carga y caudal	1
Impacto sobre poblaciones	2
Integración en el entorno	2
Producción y transporte de fangos	5

**Tabla 15. Pesos asignados a los criterios.**

Los criterios (elementos  $a_{11}...a_{ij}$  de la matriz) empleados para valorar la aptitud de cada uno de los sistemas evaluados se han aplicado, cuando ello ha sido posible, de forma directa, (superficie ocupada en  $m^2/hab.$ , rendimiento de la depuración en %, producción de fangos, etc.). En otros casos esta evaluación se ha realizado indirectamente mediante apreciaciones cualitativas adimensionales (simple, muy simple, complejo, etc.) dependientes de una o más variables. Dichas valoraciones se traducen, posteriormente, en cifras numéricas entre 1 y 10, que reflejan las situaciones extremas más desfavorables y favorables, respectivamente.

Una vez llegados a este punto, ya se está en condiciones de realizar el cálculo de la matriz de valoración.

CRITERIOS DE SELECCIÓN	Sistemas de depuración a valorar				V <sub>i</sub>	P <sub>j</sub>	V <sub>i</sub> x P <sub>j</sub>
	C.B.R.	L. B.	F. A..	A. P.			
Superficie	300	300	380	300	<b>10</b>	<b>5</b>	50
Construcción simple	70	90	78	125	<b>7</b>	<b>2</b>	14
Mantenimiento – explot simple	187	187	135	155	<b>7</b>	<b>3</b>	21
Costos construcción	170	224	210	250	<b>10</b>	<b>3</b>	30
Costos mant. – explot.	200	190	170	200	<b>5</b>	<b>5</b>	25
Rendimientos	420	400	440	420	<b>10</b>	<b>5</b>	50
Estabilidad térmica	58	61	87	105	<b>4</b>	<b>3</b>	12
Estabilidad en carga y caudal	30	30	25	25	<b>3</b>	<b>1</b>	3
Impacto sobre pobl.	65	58	73	73	<b>4</b>	<b>2</b>	8
Integración entorno	40	40	80	40	<b>5</b>	<b>2</b>	10
Producción y tte. fango	445	455	430	475	<b>10</b>	<b>5</b>	50
Valoración total	1985	2035	2108	2168	<b>∑ V<sub>i</sub> x P<sub>j</sub> = 273</b>		
Valoración final Valoración total / ∑ V <sub>i</sub> x P <sub>j</sub>	<b>7,27</b>	<b>7,45</b>	<b>7,72</b>	<b>7,94</b>			

**Tabla 16. Matriz de valoración.**

Atendiendo a la tabla 16, se observa que la aireación prolongada es el proceso más adecuado para la depuración de las aguas residuales de Medina Sidonia debido a que es el sistema de tratamiento que más puntuación obtiene en la matriz de valoración. .

Según los resultados económicos que se han expuesto en el apartado anterior, la aireación prolongada se encontraba entre los sistemas de tratamiento económicamente más viables. Como consecuencia, se escogerá la aireación prolongada como solución para la depuración de las aguas residuales del municipio de Medina. Las principales razones que han llevado a esta elección son las siguientes:

- Ocupa el primer puesto dentro de la valoración matricial.
- La gran ventaja de la aireación prolongada es que el alto tiempo de retención en el reactor biológico permite la supresión del decantador primario y por la misma razón se producen menos fangos, ya que muchos se digieren en el propio reactor.
- Las depuradoras son fáciles de construir, con costes de explotación bajos, comparados con cualquier otro equipo de fangos activos. Además, no suele necesitar personal exclusivo para la explotación o el mantenimiento.
- Permite una mayor variación de caudal y versatilidad, ya que sus parámetros pueden controlarse más fácilmente que los lechos bacterianos y fangos activos convencionales.
- Se consigue una oxidación de las sustancias químicas y una mineralización de la materia orgánica.
- Se produce una reducción de los productos orgánicos peligrosos.

- Debido a la supresión del decantador primario, este sistema ocupa mucha menor superficie, de manera que requiere instalaciones de menor tamaño que los lechos bacterianos y fangos activos.

## **7.- DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA.**

Una vez decidida la alternativa de depuración de las aguas residuales, se procede a continuación a descubrir cuáles son las etapas, así como los elementos que constituyen la planta depuradora:

### **7.1 Pretratamiento.**

Consiste básicamente en una eliminación de materias gruesas, y arenas, cuya presencia en el efluente perturbaría el tratamiento global y el funcionamiento correcto de las instalaciones de la depuradora. En el caso que ocupa, se tendrá:

- Rejillas de desbaste.

Tienen como objeto retener los cuerpos flotantes y en suspensión de tamaño más o menos grande que arrastra consigo el agua residual. El objeto de las rejillas es eludir depósitos posteriores, evitar obstrucciones en conducciones y tuberías, interceptar las materias que por sus excesivas dimensiones podrían dificultar el funcionamiento de unidades posteriores y, en definitiva, aumentar la eficiencia de los tratamientos posteriores.



Existen distintos tipos de rejillas, que se clasifican según la posición de las barras (horizontales, verticales o inclinadas), o según su separación libre (finas, medias y gruesas). Las recomendaciones de diseño indican que las rejillas finas son aquellas en las que la distancia entre barras es inferior a 1,5 cm; mientras que, en las rejillas de separación media oscila entre 1,5 y 5 cm. En este proyecto se escogerá un desbaste medio con un ancho de barrotes de 0,012 m y una separación libre entre barrotes de 0,015 m (Ver anexo 1) (Hernández Lehmann, 1997)

Por otro lado, para que la deposición de los sólidos en el canal sea mínima se recomiendan velocidades de aproximación ( $V_a$ ) superiores a 0,6 m/s. Asimismo, la velocidad de paso ( $V_p$ ) a través de las barras, a caudal punta, no deberá superar 1,2 m/s para evitar de este modo, el arrastre de basuras a través de la rejas.

Será adecuada la colocación de un sistema de autolimpieza. Este sistema tendrá un automatismo de intervalo de tiempo fijo, debido a la gran ventaja que supone su sencillez de funcionamiento y no necesitar personal especializado.

El número de barrotes que será necesario instalar será 33 (Ver anexo 1).

- Canal de reja.

El canal donde se ubique la reja deberá ser recto y perpendicular a la reja y debe evitar la acumulación de arenas. Se ha seleccionado un canal de sección rectangular. (Ver anexo 1).

- Tamices.

El tamizado se usa para afinar en el proceso de eliminación de residuos sólidos y suele constar de tamices con separación libre entre barras de 0,2 y 1 mm. Debido a que suelen estar indicados cuando existan vertidos industriales de entidad, en principio, no se tendrán en cuenta en este caso.

- Desarenado y desengrasado.

El desarenado tiene como objetivo separar los elementos pesados en suspensión (arenas, arcillas y limos), que lleva el agua residual y que perjudican el tratamiento posterior, generando sobrecargas en fangos, depósitos en las conducciones y disminución de la capacidad hidráulica.

La retirada de estos sólidos se basa en que las velocidades de sedimentación son muy superiores a las de los sólidos orgánicos, constituyendo el principio de funcionamiento de los desarenadores. Esta sedimentación se consigue provocando una reducción de la velocidad del agua por debajo de los límites de sedimentación de las arenas pero por encima de los valores de la sedimentación de la materia orgánica.

Los desarenadores se colocarán justo después de la reja de desbaste ya que, de esta forma, se facilita el trabajo de las instalaciones de limpieza y la eliminación de arena por parte de las rejillas de desbaste.

Entre los distintos tipos de desarenadores se podrían destacar los de flujo horizontal, los aireados y los de vórtice.

#### Desarenador de flujo horizontal.

El agua circula por el elemento en dirección horizontal y la velocidad de circulación se controla a través de la propia geometría del elemento. El caudal se distribuye a través de una serie de compuertas o deflectores y el agua residual circula por el tanque con una trayectoria recta hasta rebosar por un vertedero. El porcentaje de eliminación de arenas es de un 80 %.

### Desarenador de vórtice.

El agua entra en un tanque cilíndrico y sigue una dirección de flujo tangencial, siguiendo un flujo de vórtice. Las fuerzas gravitatorias y centrífugas son las responsables de la separación de las arenas. El porcentaje de reducción de arenas es del 90 %.

### Desarenador aireado.

La aireación es un proceso natural para mejorar y mantener la calidad del agua, que trata de modo efectivo las causas del problema y no sólo los síntomas. Los aireadores lanzan miles de litros de agua al aire, permitiendo a las gotas capturar el oxígeno del aire. Este entra en el agua cuando las gotas golpean la superficie, rebajan la elevada temperatura del agua superficial y provocan la mezcla y circulación de diferentes profundidades.

Este tipo de desarenadores constan de un tanque aireado de flujo helicoidal por el que circula el agua en una trayectoria en espiral controlada por la propia geometría del tanque y por la cantidad de agua suministrada a la unidad. El aire se introduce a lo largo de un lado del canal cerca de la parte inferior y esto provoca un movimiento en espiral del agua perpendicular a la dirección del flujo principal. Las partículas de arena más pesadas sedimentan mientras que la materia orgánica más ligera permanece en suspensión y se conduce a la decantación primaria. Se ha demostrado la eficiencia de estas cámaras desarenadoras aireadas es mayor que las del tipo de flujo horizontal.

Para el diseño de esta depuradora se escogerá el desarenador aireado ya que, su utilización presenta reducciones en la acumulación de arenas, unas arenas más limpias, un mayor porcentaje de eliminación y el ajuste de la cantidad de aire suministrado es fácil.

Los desarenadores aireados surgen por la necesidad de disponer de un equipo de eliminación de arenas independiente del lavado de éstas. Se suelen proyectar para eliminar partículas entre 1 cm y 0,2 mm de tamaño y con tiempo de retención comprendido entre 2 y 5 minutos (para caudal punta). (Hernández Lehmann, 1997). Se incluye además un canal para la recogida de las arenas a unos 0,90 m de profundidad, bajo los difusores de aire, colocados estos últimos entre 0,45 y 0,60 m por encima de la base normal del tanque. El aire se aporta por una soplante.

Un factor muy importante a tener en cuenta será la agitación o la velocidad de rotación transversal, ya que, determinan el tamaño de las partículas que serán eliminadas, de un peso específico dado. De esta manera, cuando la velocidad es muy pequeña, la sedimentación de la arena se lleva a una parte de la materia orgánica; mientras que, cuando la velocidad es elevada, se arrastra arena fuera del tanque.

Por otra parte, el desengrasado es importante porque normalmente los volúmenes de grasas que se vierten a los colectores son de cierta entidad, principalmente, procedentes de garajes (por no disponer de decantadores de grasas antes de su acometida a la red de alcantarillado), de los hogares, lavaderos, y de la escorrentía superficial. Las grasas crean problemas en la depuración de las aguas residuales, especialmente en rejillas finas (obstrucciones que aumentan los gastos de conservación), en decantadores (formando una capa superficial que dificulta la sedimentación al atraer hacia la superficie pequeñas partículas de materia orgánica) y dificultando la correcta aireación, ya que disminuyen el coeficiente de transferencia.

En principio, se adoptará un sistema de desarenado - desengrasado conjunto en el mismo depósito ayudados por una inyección de aire, ya que las velocidades de sedimentación de las arenas y de flotación de las partículas de grasa prácticamente no se modifican por realizar el desarenado y la desemeulsión conjuntamente, además de la ayuda que provoca la inyección de aire al impedir la sedimentación de las partículas de fango. La aireación en el desarenado se realiza con aire a baja presión, por lo que la formación de burbujas desemeulsionan las grasas, evitando la sedimentación de la materia orgánica y cualquier posible descomposición anaeróbica del agua, dejándola en perfectas condiciones para su posterior tratamiento biológico.

Por otro lado, con el desarenado y desengrasado simultáneo, se produce un ahorro del volumen total necesario para la realización de los dos procesos, adoptando como único y determinante el mayor volumen de los dos necesarios para cada uno de los procesos.

- Eliminación de residuos.

Los desechos recogidos sobre las rejillas se evacuarán mecánicamente por medio de una cinta transportadora. La arena será extraída por bombeo del fondo del desarenador y pasará a un contenedor.

## **7.2 Tratamiento biológico.**

Al adoptarse un sistema de aireación prolongada se elimina la decantación primaria, por lo que del pretratamiento se pasa directamente al tratamiento biológico.

El objetivo principal en el tratamiento secundario es la coagulación, eliminación y estabilización de la materia orgánica. Por ello, se emplea la acción de los microorganismos, que usan como fuente de alimentación la materia orgánica del agua residual. El proceso elegido para el tratamiento biológico, (ver justificación de su elección en el apartado 5 de la viabilidad) es la aireación prolongada, debido a su bajo coste de construcción, mantenimiento y facilidad de explotación.

El control efectivo del medio ambiente donde se desarrollan los microorganismos se basa en la comprensión de los principios fundamentales que rigen el crecimiento de los microorganismos.

Previamente al dimensionamiento, se procederá a la explicación de algunos conceptos básicos de cinética microbiana.

### **7.2.1 Crecimiento de un cultivo discontinuo.**

Las etapas de crecimiento basado en el número de células consta de cuatro fases:

- 1ª Fase: *Fase de aclimatación o retardo (lag).*

En esta fase los microorganismos adaptan su metabolismo a las nuevas condiciones ambientales (de abundancia de nutrientes) para poder iniciar el crecimiento exponencial.

- 2ª Fase: *Fase exponencial o de crecimiento logarítmico.*

Esta fase se caracteriza porque la velocidad de crecimiento es máxima y el tiempo de generación es mínimo. Durante esta fase las bacterias consumen los nutrientes del medio con velocidad máxima.

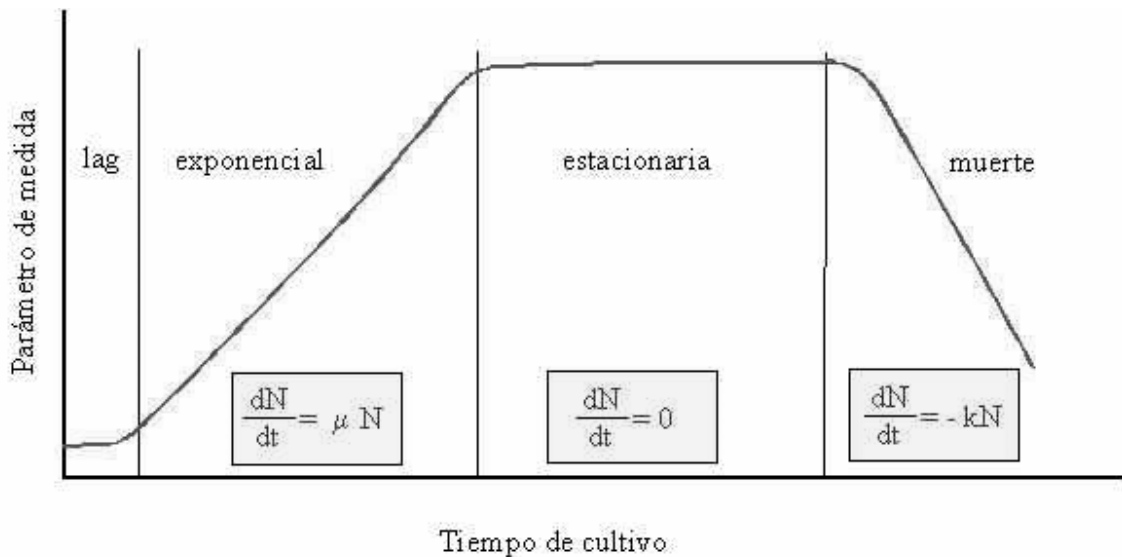
- 3ª Fase: Fase estacionaria.

En esta fase la población permanece constante. Un microorganismo entra en fase estacionaria bien porque se agota algún nutriente esencial del medio, porque los productos de desecho que han liberado durante la fase de crecimiento exponencial hacen que el medio sea inhóspito para el crecimiento microbiano o por la presencia de competidores u otras células que limiten su crecimiento.

- 4ª Fase: Fase de lisis o muerte.

Se caracteriza esta fase por una reducción del número de bacterias viables del cultivo. El número de microorganismos vivos disminuye de forma exponencial con una constante K que depende de diferentes circunstancias.

En la fase de muerte se dice que disminuye el número de microorganismos vivos. Pero se debe tener claro que cuando se habla de microorganismos vivos se hace referencia a aquellos que pueden multiplicarse y en el caso de los vivos, a aquellos que han perdido irreversiblemente la capacidad de dividirse. Los microorganismos microbiológicamente muertos no tienen porqué estar metabólicamente inactivos.



**Figura 1 Cinética microbiana.**

### 7.2.2 Cinética de crecimiento biológico.

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

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

### 7.2.3 Fangos Activos por Aireación Prolongada.

Este proceso se describe a través de modelos matemáticos. Las reacciones que corresponden a este modelo se engloban dentro de tres grupos: reacciones cinéticas, balances de materia para determinar el consumo de oxígeno y la producción neta de sólidos volátiles en suspensión en el licor mezcla y, por último, ecuaciones que determinan las condiciones óptimas de sedimentación del lodo.



Para prediseñar el reactor biológico se tendrán en cuenta los siguientes parámetros básicos, cuyos valores medios vienen dados por la experiencia:

*Concentración DBO<sub>5</sub> soluble.*

Está formada principalmente por compuestos carbonosos en disolución. Se representa como S<sub>i</sub>, siendo el subíndice una indicación de la corriente de la que se trate. El diseño de la E.D.A.R. se basará en el consumo de la DBO<sub>5</sub> soluble.

*VSS: Sólidos volátiles en suspensión.*

El símbolo que se utilizará para designar la concentración de VSS será X<sub>V,i</sub>, donde V indica volátil e i hace referencia a la corriente de la que se trata. Para determinar esta concentración, se mide la pérdida en peso de los sólidos volátiles en suspensión después de una incineración en una estufa de laboratorio a 600°. Los que quedan después de la incineración serán los sólidos no volátiles.

*NVSS: Sólidos no volátiles en suspensión.*

Se simbolizan como X<sub>NV,i</sub>, donde NV se refiere a la no volatilidad e i corresponde a la corriente de la que se trate. Por lo tanto, se cumplirá en todo momento la relación SST = VSS + NVSS

Se pasará ahora a definir los distintos símbolos que se utilizarán:

O: Subíndice que indica la alimentación combinada.

F: Subíndice que indica la alimentación inicial.

a: Subíndice que indica el efluente del reactor.

e: Subíndice que indica el efluente final.

u: Subíndice que indica la descarga del decantador secundario.

w: Subíndice que indica la purga de lodos.

$Q_F$ : Caudal medio de la alimentación inicial ( $m^3 / h$ ).

$Q_R$ : Caudal de recirculación ( $m^3 / h$ ).

r : Relación de recirculación. Adimensional ( $r = Q_R / Q_F$ ).

$Q_o$ : Caudal de la alimentación combinada ( $m^3 / h$ ).

$Q_e$ : Caudal del efluente final ( $m^3 / h$ ).

$Q_w$ : Caudal de purga ( $m^3 / h$ ).

$Q_u$ : Caudal de descarga del clarificador ( $m^3 / h$ ).

$S_F$ : Concentración de  $DBO_5$  soluble en la alimentación inicial (mg / l)

$S_o$ : Concentración de  $DBO_5$  soluble en la alimentación combinada (mg / l)

$S_e$ : Concentración de  $DBO_5$  soluble total del efluente (mg / l).

$X_w$ : Concentración de purga (mg / l)

$X_e$ : Concentración del efluente final (mg / l)

$X_{V,F}$ : Concentración de VSS en la alimentación inicial (mg / l).

$X_{V,o}$ : Concentración de VSS en la alimentación combinada (mg / l).

$X_{V,a}$ : Concentración de VSS en el reactor (mg / l).

$X_{V,u}$ : Concentración de VSS en la descarga del clarificador secundario (mg / l).

$X_{V,e}$ : Concentración de VSS en el efluente final (mg / l).

$X_{NV,F}$ : Concentración de NVSS en la alimentación inicial (mg / l).

$X_{NV,O}$ : Concentración de NVSS en la alimentación combinada (mg / l).

$X_{NV,a}$ : Concentración de NVSS en el reactor (mg / l).

$X_{NV,u}$ : Concentración de NVSS en la descarga del clarificador secundario (mg / l).

$X_{NV,e}$ : Concentración de NVSS en la el efluente final (mg / l).

$(VSS)_W$ : Sólidos volátiles en suspensión en la purga (Kg / día).

$(NVSS)_W$ : Sólidos no volátiles en suspensión en la purga (Kg / día).

$(TSS)_W$ : Sólidos totales en suspensión en la purga (Kg / día).

$\Delta X_V$ : Producción neta de fango activado (Kg / día).

$F_V$ : Fracción de sólidos volátiles en el reactor.

$T_W$ : Temperatura en el agua residual en el reactor ( $^{\circ}C$ ).

$T_R$ : Tiempo de retención hidráulica en el reactor. Es el tiempo que permanece el agua residual dentro del reactor biológico. Se mide en horas, y oscila entre 16 y 24 h.

$C_m$ : Carga másica. expresa la relación entre cantidad de alimento y el contenido de microorganismos existentes. Se expresa en Kg de DBO<sub>5</sub> / día por Kg de fango, y suele estar comprendido entre 0,05 y 0,15.

$C_v$ : Carga volúmica. Expresa los kg. de DBO<sub>5</sub> introducido por día y por m<sup>3</sup> de balsa. Sus valores oscilan entre 0,16 y 0,35.

$\Theta$ : Edad de fango. Es el tiempo de retención de las partículas sólidas dentro de la cuba de aireación, y se mide en días, estando comprendido el valor mínimo en unos 20 días.

Los elementos de los que se compone este procedimiento son los que se detallarán a continuación: (ver figura 2).

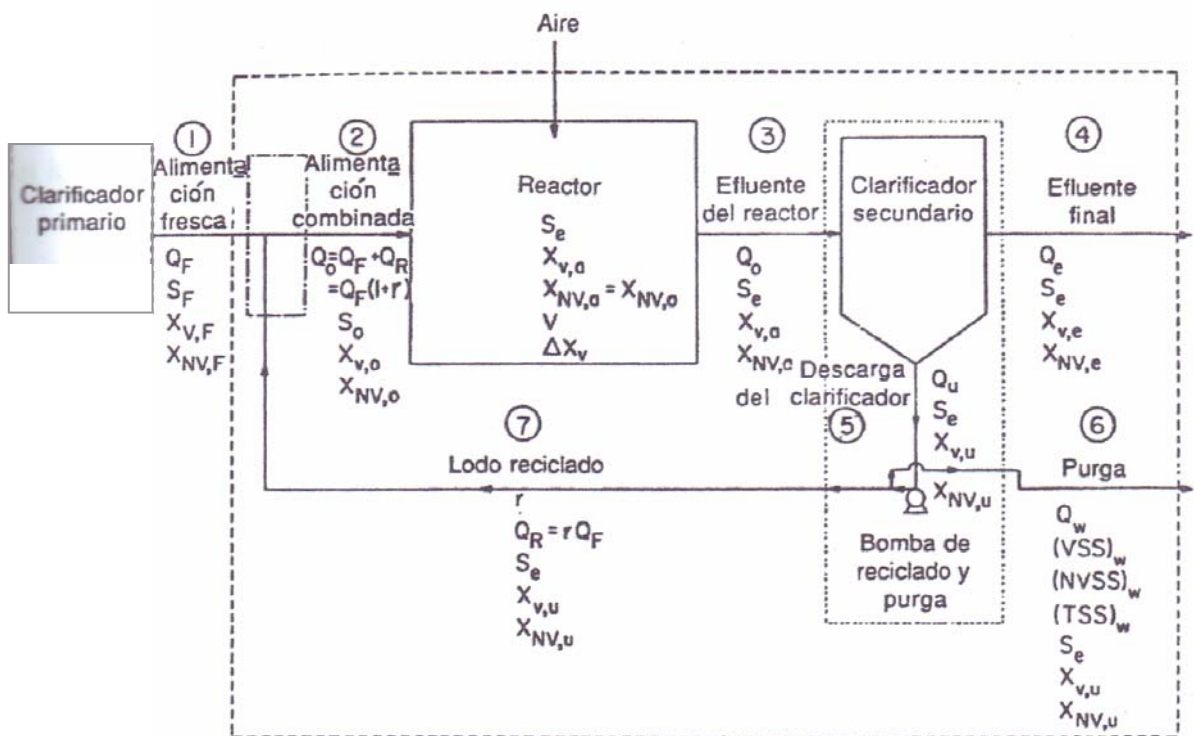


Figura 2. Esquema del tratamiento biológico empleado.

La alimentación inicial se introduce en el reactor con un valor de  $\text{DBO}_5$  soluble  $S_F$ . Lo que se persigue en este tratamiento es reducir este valor de  $\text{DBO}_5$  de  $S_F$  a  $S_e$ . Esto se consigue gracias al proceso de oxidación por degradación biológica aerobia de la materia orgánica del agua residual.

Pero antes de entrar en el reactor, esta alimentación inicial se mezcla con lodo reciclado del mismo proceso. Cabe decir que el reactor de flujo continuo en tanque agitado se utiliza como modelo de reactor biológico, si no se indica lo contrario. El lodo biológico  $\Delta X_V$  se forma continuamente en el reactor.  $S_e$  será la  $\text{DBO}_5$  soluble en el efluente del reactor, siempre que se opere en condiciones de estado estacionario y mezcla completa.

El siguiente paso será el decantador secundario. La  $\text{DBO}_5$  soluble en el efluente final y en la descarga del decantador secundario son del mismo valor. ( $S_e$ ). La descarga se divide a su vez en dos corrientes, que son la purga y el lodo reciclado, ambas con un valor de  $\text{DBO}_5$  soluble de  $S_e$ .

Una vez concluido este paso, la alimentación inicial se combina con el lodo reciclado para dar la alimentación combinada, con una concentración de  $\text{DBO}_5$  soluble de  $S_0$ .

En cuanto a los VSS, cuando se está en estado estacionario, se tiene una concentración constante de lodo biológico ( $X_{V,A}$ ). Este valor estará comprendido entre 2000 y 3000 mg / l, en el caso del proceso convencional de lodos activos. Al trabajar en condiciones de mezcla completa, los sólidos en suspensión serán los MLVSS (sólidos volátiles en suspensión en el licor mezcla) volátiles. De la misma forma, los no volátiles serán los MLNVSS.

La relación de reciclado  $r$  se calcula mediante un balance de materia al  $X_{V,A}$  dentro del reactor. Existe una producción neta de MLVSS en el reactor ( $\Delta X_V$ ). Para mantener constante MLVSS en el reactor, hay que purgar del sistema una parte de MLVSS igual a esta  $\Delta X_V$ .

En realidad la purga se hace de manera intermitente, con lo cual se estará ante un proceso en estado no estacionario; concepto que se elimina ante la realidad de considerar que la purga es pequeña frente al reciclado.

Tras la introducción del efluente en el decantador secundario se produce una descarga con una concentración en VSS de  $X_{V,u}$ , siendo  $X_{V,u} > X_{V,a}$ . Se suele cumplir que  $X_{V,u}$  tenga valores comprendidos entre 10000 y 15000 mg / l de VSS.

En el lodo y en la purga se tienen concentraciones en VSS de  $X_{V,u}$ , mientras que en el efluente final este valor será  $X_{V,e}$  (despreciable). En la alimentación combinada se tiene el valor de  $X_{V,o}$ .

Con respecto a los NVSS, su concentración se denota mediante  $X_{NV,a}$ , siendo este valor la concentración existente en la alimentación combinada y en el efluente del reactor. Por lo que se cumple que  $X_{NV,a} = X_{NV,o}$ .

En la alimentación inicial se tendrá una concentración de NVSS de  $X_{NV,F}$ , y de lodo reciclado de  $X_{NV,u}$ . En la alimentación combinada se tendrá  $X_{NV,o}$ , calculado mediante un balance de materia en la intersección de las corrientes de alimentación fresca, alimentación combinada y lodo reciclado.

En la descarga del decantador secundario, la concentración en NVSS será  $X_{NV,u}$ , y en el efluente final  $X_{NV,e}$ .

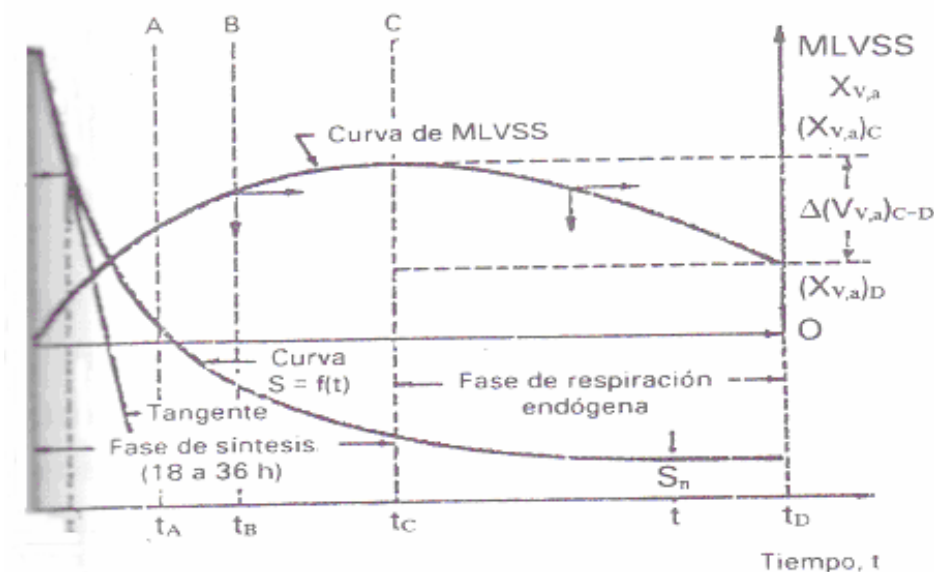
En el lodo purgado, se tendrá  $(VSS)_W$ . Esto incluye la producción neta de VSS en el reactor ( $\Delta X_V$ ), sumados a los introducidos en la alimentación inicial ( $Q_F X_{V,F}$ ), menos los VSS perdidos en el efluente final ( $Q_e X_{V,e}$ ). También se tiene  $(NVSS)_W$ .

Por otro lado, la concentración de  $DBO_5$  soluble en VSS y NVSS son igual en el caso de la descarga del clarificador, la corriente de purga y el lodo reciclado ( $S_e, X_{V,u}, X_{NV,u}$ ).

Se supondrá que la densidad de las corrientes líquidas es igual a la del agua a temperatura ambiente.

### 7.2.3.1 Relaciones cinéticas.

El estudio cinético no es más que la determinación de la velocidad a la cual los microorganismos son capaces de degradar la materia orgánica presente en el agua residual. Tras varios ensayos de laboratorio, que conllevan a la determinación del tamaño del reactor biológico, se determina la concentración de sustrato  $S_e$ , mediante extracción de muestras para su análisis. La masa de lodo biológico se determina midiendo la concentración en MLVSS en dichas muestras y leyendo el volumen de líquido en el reactor indicado por la escala volumétrica. Se determina de esta forma la variación de  $S$  frente a MLVSS con el tiempo. Se muestra, a continuación una gráfica donde aparece reflejada esta relación (Aurelio Hernández, 1997)



**Figura 3. Variación de  $S$  frente a MLVSS con el tiempo.**

En la figura 3 se observan las líneas A, B y C, que se refieren a las condiciones típicas de operación de reactores continuos. Los tiempos  $t_a$ ,  $t_b$  y  $t_c$  son los valores típicos para estos procesos en reactores continuos.

La línea A se refiere al proceso de lodos activos de carga elevada. En este caso, la velocidad de consumo de sustrato es mayor que en el proceso convencional. Las reducciones de  $DBO_5$  son del orden del 60 – 75 % para un tiempo de residencia  $t_a$ , en un reactor continuo.

La línea B corresponde al proceso convencional de lodos activos. En este caso se produce una producción neta de MLVSS. En estado estacionario,  $S_e$  y  $X_{V,a}$ , son las intersecciones de B con las curvas de  $DBO_5$  y MLVSS (para un reactor continuo operando con un tiempo de residencia  $t_b$ ). Los valores de  $S_e$  y  $X_{V,a}$ , se encuentran entre los siguientes rangos:

$S_e$ : Valor correspondiente a una reducción de  $DBO_5$  del 85 al 90%.

$X_{V,a}$ : 2000 – 3000 mg / l.

La línea C corresponde al proceso de aireación prolongada. La producción neta de MLVSS es prácticamente nula. En el equilibrio,  $X_{V,a}$  (3000 - 6000 mg / l) corresponde a la intersección de C con la curva de MLVSS. (en un reactor continuo operando a un tiempo de residencia  $t_c$ )

### 7.2.3.2 Formulación del reactor biológico continuo.

Teniendo en cuenta la hipótesis de idealidad del reactor de mezcla completa operando en régimen continuo, se podrá aplicar un balance de materia a todo el reactor:

$$\left( \begin{array}{c} \text{Velocidad de} \\ \text{acumulación de} \\ \text{sustrato en el} \\ \text{reactor} \end{array} \right) = \left( \begin{array}{c} \text{Velocidad a la} \\ \text{que entra el} \\ \text{sustrato en el} \\ \text{reactor} \end{array} \right) - \left( \begin{array}{c} \text{Velocidad a la} \\ \text{que sale el} \\ \text{sustrato del} \\ \text{reactor} \end{array} \right) - \left( \begin{array}{c} \text{Velocidad a la} \\ \text{que el sustrato} \\ \text{se oxida en el} \\ \text{reactor} \end{array} \right)$$

Al estar en régimen estacionario, el primer factor del balance es cero.



El segundo factor será  $Q_o S_o$ , y el tercero  $Q_o S_e$ , ya que ambos se refieren al consumo neto de sustrato debido solamente a la acción hidráulica.

El último factor se calcula de la siguiente forma:

Por un lado, la velocidad de consumo de sustrato ( $q$ ) por parte de los microorganismos, no es más que la pendiente  $dS / dt$  de la curva de la  $DBO_5$  de la figura 3. Y dado que la derivada es negativa, se tendrá lo siguiente:

$$(dS / dt)_a = - (dS / dt) \quad [1]$$

Pero como  $S$  es una concentración, se debe multiplicar  $(dS / dt)_a$  por el volumen de reactor para que sea una velocidad de consumo de sustrato con las mismas dimensiones que los otros términos del balance.

Por todo ello, el balance quedará:

$$0 = Q_o S_o - Q_o S_e - (dS / dt)_a \cdot V \quad [2]$$

$$(dS / dt)_a = Q_o (S_o - S_e) / V \quad [3]$$

Y expresando la velocidad de consumo de sustrato (1) por unidad de masa de MLVSS, se tiene:

$$q = - (1 / X_{V,a}) (dS / dt) = (1 / X_{V,a}) (dS / dt)_a \quad [4]$$

Combinando las ecuaciones 3 y 4:

$$q = (1 / X_{V,a}) (dS / dt)_a = Q_o (S_o - S_e) / V X_{V,a} \quad [5]$$

Por otra parte, el tiempo hidráulico de residencia se define como:

$$t_h = V / Q_o \quad [6].$$

Y de aquí se obtiene:

$$q = (1 / X_{V,a}) (dS / dt)_a = (S_o - S_e) / (t_h \cdot X_{V,a}) \quad [7].$$

Esta última ecuación corresponde a la velocidad específica de consumo de sustrato en el reactor continuo por unidad de masa de MLVSS, cuyas unidades son mg / l de DBO<sub>5</sub> consumida / (mg de MLVSS / l) (día)

a) Parámetros biocinéticos utilizados en el cálculo de la demanda de oxígeno y la producción neta de MLVSS.

Para el diseño del reactor biológico se deben tener en cuenta los datos de diferentes coeficientes cinéticos (Ramalho, 1996), como los que se indican a continuación

- Sólidos en suspensión en el licor mezcla: X (MLSS) = 4000 mg / l
- Sólidos en suspensión volátiles en el licor mezcla: ( MLSSV ) =  
( MLSSV ) = 0, 8 · 4000 = 3200 mg / l
- Edad del fango:  $\theta_c = 20$  días. (tabla II.6.1.1. del Manual de diseño de EDAR Hernández Lehmann, 1997)  
(Para este valor se tiene una DBO<sub>5</sub> soluble en el afluente de 6mg / l ).

*Coeficiente de crecimiento*

El coeficiente de crecimiento se simboliza como Y. Se define como los kilogramos de MLVSS producidos por kilogramo de sustrato total consumido. Tomará el valor de 1.3 Kg MLVSS / Kg DBO<sub>5</sub> consumida (Hernández Lehmann, 1997).

### *Coeficiente de mortalidad*

$K_d$  se define como la fracción de MLVSS oxidada por unidad de tiempo durante el proceso de respiración endógena. Se tomará el valor de  $K_d$  de  $0,06 \text{ d}^{-1}$  (Hernández Lehmann, 1997). A partir de este término se definen los kilogramos de MLVSS oxidados por día. De esta manera:

$$\text{Kg de MLVSS oxidados / día} = K_d (\text{Kg de MLVSS en el reactor})$$

Los MLVSS presentes en el reactor continuo en cualquier momento, siempre y cuando se opere en estado estacionario, es una cantidad constante. Se expresan mediante la expresión:

$$\text{Kg MLVSS en el reactor} = X_{V,a} \cdot V$$

Por lo tanto:

$$\text{Kg de MLVSS oxidado / día} = K_d X_{V,a} \cdot V \quad (i)$$

### *Parámetro a*

El parámetro a se define como la fracción de sustrato consumido utilizado para la producción de energía mediante la oxidación del sustrato. En el caso que ocupa este proyecto, su valor será como mínimo  $0,52 \text{ Kg O}_2/\text{Kg DBO}_5$  consumido (Hernández Lehmann, 1997).

### *Parámetro b*

El parámetro b se define como los kilogramos de oxígeno utilizado por día y por kilogramo de MLVSS en el reactor durante el proceso de respiración endógena.

$$b = \text{Kg O}_2 / (\text{día}) (\text{Kg MLVSS en el reactor})$$

Se define:

$$\text{Kg O}_2 / (\text{día}) = b (\text{Kg MLVSS en el reactor}) \text{ ó}$$

$$\text{Kg O}_2 / \text{día} = b X_{V,a} V \quad (\text{ii})$$

Si se divide (i)/(ii), se obtiene una relación cuyo valor es 1,42 (Ramalho, 1996):

$$b / K_d = \text{Kg O}_2 / \text{Kg MLVSS oxidado} = 1,42$$

**Para determinar el consumo de oxígeno se realiza el siguiente procedimiento:**

Para poder diseñar el equipo de aireación, debe calcularse la necesidad de oxígeno para que se produzca el consumo específico de  $\text{DBO}_5$ . Se requiere oxígeno con dos fines: Oxidar el sustrato para dar energía a las células y para la respiración endógena.

Oxígeno necesario para la síntesis: Para realizar este cálculo se tomará como base el procedimiento llevado a cabo por Hernández Lehmann (Hernández Lehmann, 1997).

Se sabe que :

$$a = 0,5 + (0,01 \times \theta_c). \quad [8]$$

Por lo que, una vez calculado  $\theta_c$ , se procederá al cálculo de  $a$  (Ver anexo 1). Si este valor resultase mayor a 0,52, se adoptará directamente como valor óptimo  $0,52 \text{ kg O}_2 / \text{kg DBO}_5$ . Por lo que el oxígeno teórico necesario para la síntesis será:

$$\text{O.N.S} = [\text{Kg de DBO}_5 \text{ del agua objeto a estudio} / \text{día}] \cdot 0,52 \text{ kg O}_2 / \text{kg DBO}_5$$

Oxígeno necesario para la endogénesis: Para realizar este cálculo se tomará la expresión, siguiendo las especificaciones de la bibliografía (Aurelio Hernández, 1997):

$$b = (0.13 \cdot \theta_c) / (1 + (0.16 \cdot \theta_c)). \quad [9]$$

Una vez calculado  $\theta_c$  se calcula  $b$ . Por lo que el oxígeno teórico necesario para la endogénesis es:

$$O.N._E = [\text{Kg de DBO}_5 \text{ del agua objeto a estudio / día}] \cdot b \text{ kg O}_2 / \text{kg DBO}_5$$

$O.N._E$  tendrá como unidades  $\text{kg O}_2 / \text{día}$ .

Pero, se deberá tener en cuenta una *nitrificación* en el sistema. Por tanto, en el cálculo de las necesidades de oxígeno debe contabilizarse las debidas a la nitrificación.

En cuanto al balance de los MLVSS, se sabe que:

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

$$\text{Kg de MLVSS producidos por endogénesis/ día} = Y (S_o - S_e) Q_o = Y S_r Q_o.$$

$$\text{Kg de MLVSS consumidos por endogénesis/ día} = K_d X_{V,a} V .$$

Por lo tanto:

$$\Delta X_V = Y (S_o - S_e) Q_o - (K_d X_{V,a} V) = (Y S_r Q_o) - (K_d X_{V,a} V). \quad [10].$$

Hay que tener en cuenta que es necesario un factor de 86,4 para calcular los Kg de MLVSS producidos por consumo de sustrato en un día. Este factor se obtiene de la siguiente manera:

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

$$\text{Kg de MLVSS producidos por consumo de sustrato / día} = 86,4 Y S_r Q_o.$$

#### **7.2.4 Procedimiento de diseño para lodos activos**

Para el diseño de las plantas que utilizan como tratamiento secundario el de lodos activos, se trabaja con los parámetros  $K_d$ ,  $Y$ ,  $a$ ,  $b$ .

Esencial para este cálculo será el conocimiento de  $X_{V,a}$ , cuyos valores oscilan entre 2000 – 3000 mg / l, para el caso de lodos activos; y entre 3000 – 6000 mg / l, para aireación prolongada. (Ramalho, 1996)

Por otro lado,  $X_{V,u}$  debe estar comprendida entre 10000 y 15000 mg / l de MLVSS. (Ármalo, 1996). Se debe saber que esta concentración de MLVSS en el lodo reciclado es igual que la de descarga del decantador secundario y que la de la corriente de purga. Pero debe tenerse en cuenta que no suele existir acumulación de lodo, por lo que hay que separar la producción neta de lodo en el reactor de la purga. La purga, a efectos teóricos se lleva a cabo de manera continua. Aunque en la práctica se realice de manera intermitente, al ser demasiado pequeña. La purga se controla con válvulas temporizadas.

##### 7.2.4.1 Ecuaciones de diseño.

Las ecuaciones utilizadas para el diseño se obtendrán a partir de balances de materia en el punto de mezcla:

### *Cálculo de $Q_o$*

Para el cálculo del caudal de recirculación " $Q_r$ " se necesita conocer la relación de recirculación " $r$ " y el caudal de alimentación " $Q_F$ "

Para calcular el valor de  $r$ , se utilizará la expresión propuesta por Ramalho para aireación prolongada (Ramalho, 1996):

$$r = [X_{v,a} - (1-\phi) Y (S_F - S_e)] / [X_{v,u} - X_{v,a}] \quad [11].$$

Por otro lado, dado que, en el punto de mezcla se cumple que  $Q_o = Q_F + Q_r$  y teniendo en cuenta que  $Q_r = r Q_F$ , se obtiene:

$$Q_o = (r + 1) Q_F \quad [12]$$

### *Balance para la alimentación combinada $S_o$ .*

$$[\text{DBO}_5 \text{ entrada}]: S_F Q_F + Q_r S_e = Q_F S_F + r S_e Q_F \quad [13]$$

$$[\text{DBO}_5 \text{ salida}]: Q_o S_o = (1 + r) S_o Q_F \quad [14]$$

Pero se sabe que en condiciones de estado estacionario se cumple que  $[\text{DBO}_5 \text{ entrada}] = [\text{DBO}_5 \text{ salida}]$ . Por lo que:

$$Q_F S_F + r S_e Q_F = (1 + r) S_o Q_F \quad [15]$$

$$S_o = (S_F + r S_e) / (1 + r) \quad [16]$$

Restando de ambos términos de la ecuación (16), se tiene

$$S_o - S_e = [(S_F + r S_e) / (1 + r)] - S_e$$

Y operando resulta:

$$S_o - S_e = (S_F - S_e) / (1 + r) \quad [17]$$

La ecuación (17) representa el consumo de DBO<sub>5</sub> en el reactor.

*Balance para X<sub>NV,o</sub> y X<sub>v,o</sub>.*

Para establecer X<sub>V,o</sub> se realiza un balance de materia al punto de mezcla:

$$\text{VSS a la entrada: } Q_F X_{V,F} + Q_r X_{V,u} \quad [18]$$

$$\text{VSS a la salida: } Q_o X_{V,o} \quad [19]$$

Se sabe que en condiciones de equilibrio se cumple que VSS a la entrada es igual que VSS a la salida. Por lo que:

$$Q_F X_{V,F} + Q_r X_{V,u} = Q_o X_{V,o} \quad [20]$$

Sustituyendo en la ecuación (20)  $Q_r = r Q_F$  y  $Q_o = (1 + r) Q_F$  y despejando X<sub>V,o</sub>, se obtiene la ecuación siguiente:

$$X_{V,o} = (X_{V,F} + r X_{V,u}) / (1 + r) \quad [21]$$

Si se realiza un procedimiento similar para los sólidos no volátiles, se tendrá la siguiente expresión:

$$X_{NV,o} = (X_{NV,F} + r X_{NV,u}) / (1 + r) \quad [22]$$

*Ecuaciones de diseño para las relaciones cinéticas.*

Partiendo de las ecuaciones 7, 12 y 17 y considerando la definición del tiempo hidráulico de residencia en el reactor como  $t_h = V / Q_o$ , se obtiene la siguiente expresión:

$$q = (1 / X_{V,a}) (dS / dt)_a = (S_o - S_e) / (t_h \cdot X_{V,a})$$



$$q = [(S_F - S_e) / (1 + r)] / (V / Q_o) \cdot X_{V,a}$$

$$q = [(S_F - S_e) / (1 + r)] / [V \cdot X_{V,a} / (1 + r) Q_F]$$

$$q = (S_F - S_e) / [(V / Q_F) \cdot X_{V,a}] \quad [23]$$

El término  $V / Q_F$ , que aparece en la ecuación (23) es un tiempo de residencia ficticio para el reactor. Se refiere únicamente a la alimentación inicial ( $Q_F$ ). Se definirá a partir de ahora como "t".

Por todo ello, la ecuación resultante que define la relación cinética será:

$$q = t \cdot X_{V,a} \quad [24]$$

En el caso de que el consumo de sustrato siga una cinética de primer orden:

$$q = (S_F - S_e) / t \cdot X_{V,a} = K S_e. \quad [25]$$

*Ecuación para la producción neta de biomasa.*

Si en la ecuación [10] se sustituyen  $Q_o$  y  $(S_o - S_e)$  por los valores de las ecuaciones 12 y 17, respectivamente; resulta la siguiente ecuación de diseño.

$$\Delta X_V = Y [(S_F - S_e) / (1 + r)] Q_F (1 + r) - K_d X_{V,a} V = Y (S_F - S_e) Q_F - K_d X_{V,a} V \quad [26]$$

*Ecuación de diseño para la relación A / M*

Este parámetro se define como Kg de sustrato en el afluente / (día) (Kg MLVSS en el reactor). Sus valores vienen expresados en la ecuación (27) (Metcalf & Eddy, 1995):

$$\left. \begin{aligned} A &= (Q_o S_o) \times 86,4 \\ M &= (X_{V,a} V) \times 10^{-3} \end{aligned} \right\} A / M = (Q_o S_o) / (X_{V,a} V) \quad [27]$$

La expresión resultante  $A / M$  tiene esta expresión debido a que  $Q_o$  viene expresado en  $m^3 / \text{día}$ ,  $V$  en  $m^3$  y tanto  $S_o$  como  $X_{V,a}$  vendrán en  $mg / l$ .

También podría expresarse en función del tiempo hidráulico de residencia, ya que  $t_h = V / Q_o$ . De esta manera:

$$A / M = S_o / X_{V,a} t_h ; \text{ de donde se deduce que :}$$

$$t_h = S_o / (A / M) X_{V,a} \quad [28]$$

Por otro lado, el tiempo hidráulico de residencia adecuado (según la bibliografía) para obtener un lodo floculante óptimo, en el caso de la aireación prolongada, puede determinarse a partir de la ecuación (29):

$$t_h = S_o / [X_{V,a} (A / M)_{opt}] \quad [29]$$

#### 7.2.4.2 Producción total de lodos.

La purga contiene sólidos volátiles y no volátiles en suspensión. Hay un balance independiente para cada corriente.

En el caso de los sólidos volátiles en suspensión, el balance será el siguiente:

VSS que entran (Kg / día)

$Q_F X_{V,F}$ : En la alimentación inicial.

$Y (S_F - S_e) Q_F$ : Síntesis en el reactor

VSS que salen (Kg / día)

$(VSS)_W = Q_W X_{V,u}$ : En la purga

$Q_e X_{V,e}$ : En el rebosadero del decantador secundario.

$K_d X_{V,a} V$ : Pérdidas por respiración endógena.

Por todo ello:

$$Y(S_F - S_e) Q_F + Q_F X_{V,F} = (VSS)_W + K_d X_{V,a} V + Q_e X_{V,e} \quad [30]$$

$$(VSS)_W = Q_W X_{V,u} = Y(S_F - S_e) Q_F - K_d X_{V,a} V - Q_e X_{V,e} + (VSS)_W + Q_F X_{V,F} \quad [31]$$

Y dado que  $\Delta X_V = Y(S_F - S_e) Q_F - K_d X_{V,a} V$ , se tendrá lo siguiente:

$$(VSS)_W = Q_W X_{V,u} = \Delta X_V - Q_e X_{V,e} + Q_F X_{V,F} \quad [32]$$

En el caso de los sólidos no volátiles en suspensión, el balance será el siguiente:

VNSS que entran (Kg / día)

$Q_F X_{NV,F}$ : En la alimentación inicial.

VNSS que salen (Kg / día)

$(NVSS)_W = Q_W X_{NV,u}$ : En la purga

$Q_e X_{NV,e}$ : En el rebosadero del decantador secundario.

Por todo ello:

$$Q_F X_{NV,F} = (NVSS)_W + Q_e X_{NV,e} \quad [33]$$

$$(NVSS)_W = Q_W X_{NV,u} = Q_F X_{NV,F} - Q_e X_{NV,e} \quad [34]$$

Aplicando el balance global se llega a la siguiente expresión:

$$Q_F = Q_e + Q_W \quad [35]$$

Despejando  $Q_e$  se obtiene:

$$(NVSS)_W = Q_W X_{NV,u} = Q_F (X_{NV,F} - X_{NV,e}) + Q_W X_{NV,e} \quad [36]$$

La producción total de lodos se obtiene combinando las ecuaciones 32 y 36:

$$(TSS)_W = (VSS)_W + (NVSS)_W \quad [37]$$

$$(TSS)_W = \Delta X_V - Q_e X_{V,e} + Q_F X_{V,F} + Q_F (X_{NV,F} - X_{NV,e}) + Q_W X_{NV,e}$$

#### 7.2.4.3. Relación de reciclado.

Se sabe que la relación de recirculación se define como  $r = Q_r / Q_F$ . El balance de VSS será:

VSS que entran (Kg / día)

$$Q_0 X_{V,a} = Q_F (1 + r) X_{V,a}. \text{ En el efluente del reactor.}$$

VSS que salen (Kg / día)

$(VSS)_W = \Delta X_V + Q_F X_{V,F} - Q_e X_{V,e}$ : En la purga.

$Q_e X_{V,e}$ : En el efluente del decantador secundario.

$Q_r X_{V,u} = r Q_F X_{V,u}$ : En el lodo reciclado.

Por todo ello:

$$Q_F (1 + r) X_{V,a} = \cancel{Q_e X_{V,e}} + \Delta X_V + Q_F X_{V,F} - \cancel{Q_e X_{V,e}} + r Q_F X_{V,u} \quad [38]$$

Despejando r:

$$r = [Q_F X_{V,a} - \Delta X_V - Q_F X_{V,F}] / [Q_F (X_{V,u} - X_{V,e})] \quad [39]$$

En general, los términos  $\Delta X_V$  y  $Q_F X_{V,F}$  son muy pequeños frente a  $Q_F X_{V,a}$  y por ello, pueden despreciarse. De esta manera, se llega a la ecuación (40)

$$r = [X_{V,a}] / [(X_{V,u} - X_{V,e})] \quad [40]$$

#### 7.2.4.4. Estimación de $Q_w$ y $Q_e$ .

Si se sustituye  $Q_e$  en la ecuación [31] por el valor que resulta de la ecuación [30], se obtendrá:

$$Q_w = [\Delta X_V + Q_F X_{V,F} - Q_F X_{V,e}] / [X_{V,u} - X_{V,e}] \quad [41]$$

Por otra parte, de las ecuaciones 34 y 40 se obtendrá:

$$Q_e = Q_F - [(\Delta X_V + Q_F X_{V,F} - Q_F X_{V,e}) / (X_{V,u} - X_{V,e})] \quad [42]$$

#### 7.2.4.5 Estimación del volumen del reactor.

Se determinará el volumen mínimo necesario según MLSS, tiempo de retención, carga másica y carga volúmica y se adoptará el valor más desfavorable. El procedimiento se relata a continuación:

- Según MLSS.

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

$$X = [\theta_c \cdot Y \cdot (S_0 - S)] / [(1 + K_d \cdot \theta_c) t_R] \quad [43]$$

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

$$V_R = [Q \cdot \theta_c \cdot Y \cdot (S_0 - S)] / [X \cdot (1 + K_d \cdot \theta_c)] \quad [44]$$

- Según tiempo de retención.

Como el  $t_r$  debe ser mayor de 20 horas (ver tabla 17 del anexo 1), sustituyendo  $t_R$  por  $V_R / Q$ , se obtiene:

$$t_R = V_R / Q \rightarrow V_R = (20 / 24) \cdot Q_{med.} \quad [45]$$

- Según la carga másica.

La carga másica se define como la carga diaria de materia orgánica contaminante del agua residual (expresada como Kg de DBO<sub>5</sub>) por unidad de masa de sólidos suspendidos totales en el reactor biológico.

En procesos de aireación prolongada debe tenerse en cuenta que  $C_m$  tiene que ser menor de 0,15 (Hernández Lehmann, 1997). Por lo que se tiene lo siguiente:

$$C_m = (S_0 \cdot Q) / (X \cdot V_R) \quad [46]$$

Siendo:

$S_0$  = Concentración DBO<sub>5</sub> de entrada al reactor biológico (Kg / m<sup>3</sup> ó g / m<sup>3</sup>)

Q = Caudal medio (m<sup>3</sup> / día)

X = Concentración de sólidos totales suspendidos en el reactor o MLSS (Kg / m<sup>3</sup> ó g / m<sup>3</sup>)

V<sub>r</sub> = Volumen del reactor (m<sup>3</sup>)

Este parámetro representa la relación existente entre la cantidad de alimento y el contenido de microorganismos.

- Según la carga volúmica

La carga volúmica se define como la carga orgánica contaminante por día en el agua residual (expresada como Kg de DBO<sub>5</sub> / día referida al volumen del reactor biológico)

En procesos de aireación prolongada debe tenerse en cuenta que C<sub>v</sub> tiene que ser menor de 0,35. Por lo que se tiene lo siguiente:

$$C_v = (S_0 \cdot Q) / V_r \quad [47]$$

Teniendo S<sub>0</sub>, Q y V<sub>r</sub> el mismo significado que el anterior apartado.

Como puede deducirse fácilmente, la relación entre la carga volúmica y la carga másica es:

$$C_m = C_v / X$$

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

Se deben efectuar las siguientes comprobaciones:

- Edad del fango:

Con el nuevo volumen adoptado se recalcula la nueva edad del fango:

$$1 / \theta_c = [Y \cdot Q \cdot (S_0 - S)] / [(V_r \cdot X)] - K_d \quad [48]$$

- Comprobación de la carga másica:

Se aplica la ecuación [46] y se realiza la comprobación.

- Comprobación de la carga volúmica:

Se aplica la ecuación [44] y se realiza la comprobación.

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



#### 7.2.4.6. Consumo de nutrientes.

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

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

a) Estos nutrientes se perderán por la purga de los MLVSS. Sus pesos serán los siguientes:

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

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

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

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

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

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

$$N: (0,12 \cdot \Delta X_V) + (86,4 \cdot Q_F \cdot 1) \text{ (Kg / día)} \quad [49]$$

$$P: (0,02 \cdot \Delta X_V) + (86,4 \cdot Q_F \cdot 0,5) \text{ (Kg / día)} \quad [50]$$

Pero también conviene conocer la cantidad total de N y P disponible en la alimentación inicial. Esto se calcula según las ecuaciones 51 y 52.

$$N_{\text{disponible}}: 86,4 \cdot Q_F \text{ [NKT]} \text{ (Kg / día)} \quad [51]$$

$$P_{\text{disponible}}: 86,4 \cdot Q_F \text{ (Kg / día)} \quad [52]$$

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

Si N y P disponibles son mayores que las requeridas, entonces no se necesitará adición. Si no se cumpliera esto deberá adicionarse una cantidad calculada en el reactor de P y N en forma de  $\text{NH}_3$  acuoso y  $\text{PO}_4\text{H}_3$  o  $\text{PO}_4\text{NH}_3$ .

#### 7.2.4.7 Balance de materia a los sólidos no volátiles en suspensión

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

$$F_V = X_{V,a} / (X_{V,a} + X_{NV,a}) \quad [53]$$

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

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

$$X_{NV,a} = [(1 - F_V) \cdot X_{V,a}] / F_V \quad [54]$$

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

$$Q_o X_{NV,a} = Q_e X_{NV,e} + Q_u X_{NV,u} \quad [55]$$

Si se combina la ecuación [12] y la [55], se obtendrá [56]:

$$X_{NV,u} = [Q_F (1 + r) X_{NV,a} - (Q_e X_{NV,e})] / Q_u \quad [56]$$

Si se considera que  $X_{NV,e}$  es aproximadamente cero, se obtiene que:

$$X_{NV,u} = [Q_F (1 + r) X_{NV,a}] / Q_u \quad [57]$$

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

$$Q_F X_{NV,F} + Q_R X_{NV,u} = Q_o X_{NV,o} = Q_o X_{NV,a} \quad [58]$$

Utilizando la ecuación [12] y la ecuación [59]:

$$Q_r = r \cdot Q_F \quad [59]$$

Y sustituyendo  $Q_o$  y  $Q_r$  en la ecuación [57], resulta lo siguiente:

$$X_{NV,F} = (1 + r) X_{NV,a} - r X_{NV,u} \quad [60]$$

#### 7.2.4.8 DBO<sub>5 total</sub> en el efluente

Hasta este momento sólo se ha tenido en cuenta  $S_e$ , esto es, la DBO<sub>5</sub> soluble en el efluente, pero también hay que considerar la DBO<sub>5</sub> correspondiente a los sólidos volátiles en suspensión en el efluente final. Este valor suele despreciarse, ya que, en general, la concentración de los VSS en el efluente final es muy pequeña, debido a que el decantador secundario se dimensiona para capturar el 100 % de los sólidos; pero a veces hay que tener en cuenta una contribución de DBO<sub>5</sub> debida a los sólidos volátiles en suspensión.

En el caso de lodos activos este valor puede estimarse a partir de la relación A / M.

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

Pero además, para calcular la DBO<sub>5 total</sub> en el efluente se utiliza la ecuación [61]

$$DBO_{5total} = S_e + \varphi X_{v,e}. \quad [61]$$

El procedimiento para calcular DBO<sub>5 total</sub> en el efluente se realiza haciendo uso de la figura 4. Basta con introducir el valor de A / M y calcular  $\varphi$  a partir de la figura 4. Una vez que se tiene el valor de  $\varphi$ , se sustituye en la ecuación [61] y se obtiene el valor de DBO<sub>5 total</sub> en el efluente.

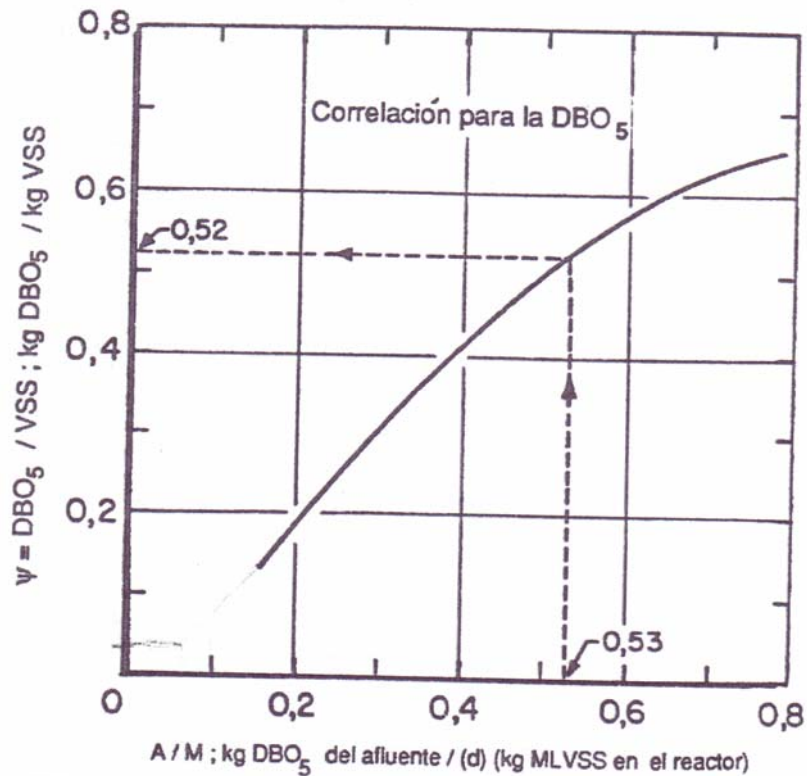


Figura 4. Correlación de  $\psi$  en función de  $A / M$  obtenido para los VSS

### 7.2.5. Elección del tipo de reactor.

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

- En los reactores de las plantas de lodos activos se produce una dispersión considerable, debido a la turbulencia que origina la aireación. Esto conlleva a que resulte más próximo a la realidad el modelo de mezcla compleja, donde se supone una mezcla total, donde se supone una mezcla total.
- Los cambios en la DBO<sub>5</sub> del efluente se amortiguan más fácilmente en un reactor de mezcla completa que en un flujo en pistón.

- En los reactores de flujo en pistón se produce un empeoramiento de las características de sedimentación de la biomasa producida en el reactor.
- Existe un mejor balance entre el suministro y el consumo de oxígeno en el caso de los RFCTA si se comparan con los reactores de FP.

Pero como se ha expuesto anteriormente, el proceso que se va a llevar a cabo en la planta de depuración que se está estudiando va a ser el de aireación prolongada. Las variaciones de este proceso con el de lodos activos convencional se expondrán a continuación.

### 7.2.6 Aireación prolongada

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

Utilizando la ecuación [10] y considerando que la producción neta de lodo se aproxima a cero ( $\Delta X_V \approx 0$ ), se llega a la ecuación [62]:

$$Y (S_F - S_e) Q_F - K_d X_{V,a} V = 0 \quad [62]$$

Y dado que  $t = V / Q_F$ , utilizando la ecuación 62 se llega a:

$$t = Y (S_F - S_e) / K_d X_{V,a} = Y S_r / K_d X_{V,a} \quad [63]$$

siendo  $S_r = S_F - S_e$

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

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

Por un lado, la velocidad de oxidación del lodo controla el volumen del reactor. La ecuación [62] va a ser la base del diseño de este proceso. Los datos experimentales indican que aproximadamente el 77% del lodo producido es biodegradable y que el 23 % restante está formado por membranas celulares no biodegradables, por lo que el primer miembro de la ecuación [62] se ve modificado:

$$Y_o S_r Q_F = \phi Y S_r Q_F \quad [64]$$

Siendo  $Y_o = \text{Kg de MLVSS biodegradables producidos} / \text{Kg de DBO}_5 \text{ total consumida.}$

$\phi Y = \text{Kg de DBO}_5 \text{ total consumida.}$

$\phi = \text{MLVSS biodegradable producido} / \text{Kg de MLVSS producidos.}$

$Y = \text{Cantidad total de MLVSS producida} / \text{Kg de DBO}_5 \text{ total consumida.}$

$$S_r = S_F - S_e$$

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

Si se recuerda la ecuación [26]:  $\Delta X_V = Y S_r Q_o - K_d X_{V,a} V$ , que indicaba la producción neta de MLVSS,  $K_d$  se refiere a la fracción total de MLVSS oxidada en un día y se define, en esta línea un  $K_{d,o}$  (Kg MLVSS oxidado/(día)(Kg MLVSS total en el reactor) que corresponde a la cantidad de lodo biodegradable, se llega a la ecuación 64. Esta ecuación se obtiene sustituyendo en la ecuación 61  $K_d$  y  $X_{V,a}$  por  $K_{d,o}$  y  $\phi X_{V,a}$ .

$$K_{d,o} \phi X_{V,a} V = (K_d / \phi) (\phi X_{V,a}) V = K_d X_{V,a} V \quad [65]$$

Igualando la ecuación 63 y 64 se obtiene:

$$\phi Y S_r Q_F = Y_o S_r Q_F = K_d X_{V,a} V \quad [66]$$

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

$$t = V / Q_F = Y_o S_r / K_d X_{V,a} = (\phi Y S_r) / (K_d X_{V,a} V)$$

$$t = \phi Y (S_F - S_e) / K_d X_{V,a} \quad [67]$$

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

Otro factor importante a tener en cuenta es la razón de recirculación ( $r$ ). En este caso tan sólo habrá que aproximar el término  $X_{V,F}$  de la ecuación [39] a cero.

$$r = [Q_F X_{V,a} - \Delta X_V] / [Q_F (X_{V,u} - X_{V,a})] \quad [68]$$

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

$$\Delta X_V = (1 - \phi) Y (S_F - S_e) Q_F - Q_e X_{V,e} \quad [69]$$



Donde:  $(1 - \phi) = 1 - 0,77 = 0,23$ .

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

$$r = [X_{V,a} - (1 - \phi) Y (S_f - S_e)] / [(X_{V,u} - X_{V,a})] \quad [70]$$

#### 7.2.6.1 Edad de fangos.

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

$$\theta_c = V_r X / [Q_w X_w + Q_e X_e] \quad [71]$$

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

*Velocidad de acumulación microorganismos = Velocidad de cantidad de entrada – Velocidad de cantidad en salida + Velocidad de crecimiento neto.*

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

$$Q_w X_w + Q_e X_e = V_r r'_g, \quad [72]$$

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

$$r'_g = - Y (\Delta S / \Delta t) - K_d \Delta X \quad [73]$$

Por tanto:

$$[Q_w X_w + Q_e X_e] / V_r X = (- Y / X) (\Delta S / \Delta t) - K_d \quad [74]$$

Combinando la ecuación [71] y [74] se obtiene lo siguiente:

$$1 / \theta_c = [Y (S_o - S) / t_r X] - K_d \quad [75]$$

Y dado que  $t_r = V_r / Q$ :

$$1 / \theta_c = [Y Q (S_o - S) / (V_r X)] - K_d \quad [76]$$

#### 7.2.6.2 Nitrificación –desnitrificación

En la aireación prolongada, para eliminar el nitrógeno del agua residual y evitar, por tanto, los procesos de eutrofización, lo que se hace es convertirlo a nitrato mediante un proceso conocido como nitrificación biológica.

La presencia de nitrógeno en las aguas residuales es perjudicial para los cauces receptores por los siguientes motivos:

- Los compuestos de nitrógeno en forma orgánica o como amoníaco producen un consumo de oxígeno que puede llegar a reducir la presencia de oxígeno disuelto en los ríos por debajo de los valores necesarios para la existencia de los peces.
- Los nitritos y el amoníaco son altamente tóxicos para los peces. La solución para estos dos problemas es la oxidación de los compuestos nitrogenados orgánicos y del amoníaco (nitrificación).
- El nitrógeno es un factor de eutrofización. La solución en este caso es la eliminación del nitrógeno del agua residual (desnitrificación).

El origen principal del nitrógeno en el agua residual urbana son las proteínas ingeridas por las personas en su alimentación, las cuales llegan al agua fundamentalmente como urea [  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  ].

En las redes del alcantarillado la urea se transforma rápidamente a amonio y los compuestos de nitrógeno orgánico son hidrolizados por bacterias y, por tanto, convertidas también en amonio. Por este motivo, la mayoría del nitrógeno influente a una estación depuradora se encuentra en forma no oxidada. A la totalidad del nitrógeno no oxidado es a lo que se llama nitrógeno Kjeldahl (NTK).

Eventualmente puede llegar también en el influente de una depuradora parte de nitrógeno oxidado (nitritos o nitratos). Su origen en este caso estará en vertidos industriales o en infiltraciones de la red.

En una estación depuradora con tratamiento biológico convencional sin nitrificación, la mayoría de los compuestos orgánicos del nitrógeno son hidrolizados a amonio. Una parte es utilizada por las bacterias (el 12% de la biomasa es nitrógeno) y por lo tanto retirado del sistema con los fangos en exceso y el resto es vertido al cauce como nitrógeno amoniacal. En una planta con nitrificación, el nitrógeno amoniacal no empleado por la biomasa es convertido a nitratos, si bien, el contenido total de nitrógeno en el efluente sigue siendo el mismo prácticamente. En una planta con nitrificación y desnitrificación, los nitratos son transformados en nitrógeno gas ( $\text{N}_2$ ) y pasa a la atmósfera, eliminándose del vertido de agua.

No obstante, y pese a los procesos de desnitrificación, siempre queda en el efluente de la depuradora una pequeña cantidad de nitrógeno orgánico (1-2 mg  $\text{N}_{\text{org}}/\text{l}$ ) que corresponde a los compuestos disueltos, difícilmente biodegradables (DQO refractaria).

Las condiciones imprescindibles para que se pueda llevar a cabo el proceso de la desnitrificación son:

- Presencia de combinaciones oxidadas de nitrógeno.
- Ausencia de oxígeno disuelto.
- Presencia de bacterias facultativas (que pueden usar nitratos u oxígeno).
- Presencia de un sustrato asimilable como fuente de energía.

Además existen otros factores que influyen positivamente.

- Relación  $NTK / DBO_5 < 0,2$ .
- Relación  $DQO / DBO_5 \approx 2$
- Ausencia del decantador primario o tamaño muy pequeño.
- Relación  $DBO_5 \text{ soluble} / DBO_5 \text{ total}$  elevado
- Homogeneización de caudales y concentraciones.

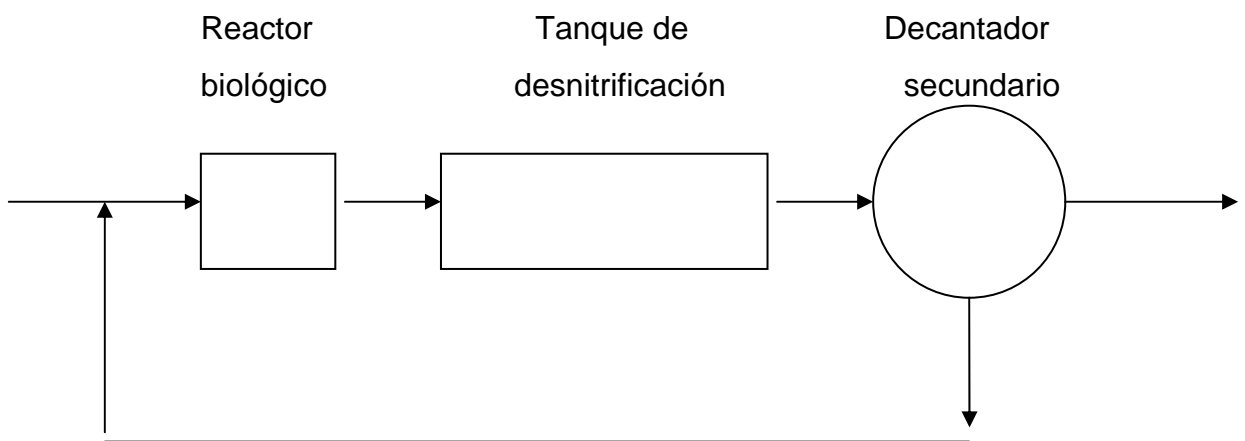
Con carácter general, todas las técnicas de proceso deben cumplir dos condiciones:

- Deben haber zonas con ausencia de oxígeno en las que con una agitación adecuada se pongan en contacto los fangos y el agua residual.
- Debe haber demanda de oxígeno suficiente de las bacterias heterótrofas.

Son muy numerosas las soluciones que se han venido ensayando durante los últimos años para conseguir una adecuada desnitrificación. Todas ellas parten de tres técnicas básicas:

### Desnitrificación postconectada.

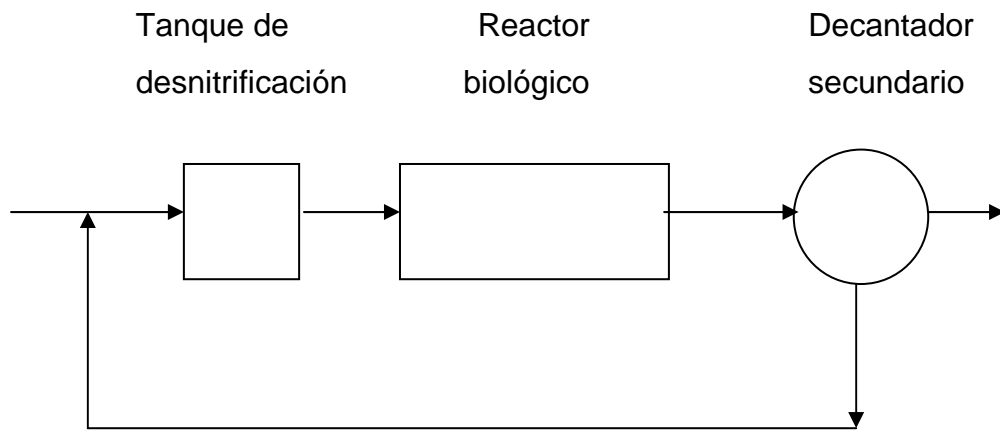
En este sistema, la desnitrificación se lleva a cabo haciendo uso de sustancias de reserva intracelulares de las bacterias como donantes de hidrógeno en la desnitrificación, añadiendo un tanque después del reactor biológico. Como ventajas tiene un alto rendimiento en degradación de combinaciones difícilmente degradables y una buena sedimentabilidad del fango en decantación secundaria, pero tiene la gran desventaja de una velocidad de nitrificación baja, y como consecuencia se necesita un gran volumen de tanque.



**Figura 5. Desnitrificación postconectada.**

### Desnitrificación preconectada.

Los nitratos llegan al tanque anóxico por recirculación interna, que suele ser varias veces superior al caudal medio; la principal ventaja es que se requiere un tiempo de contacto mínimo, no presentando desventajas.

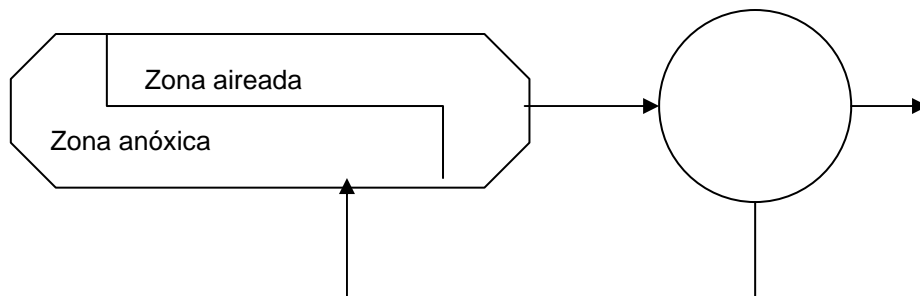


**Figura 6. Desnitrificación preconectada.**

**Desnitrificación simultánea y alternante.**

Se realiza la desnitrificación simultánea consiguiendo en el reactor una zona con suficiente aireación para nitrificar y otra anóxica para desnitrificar.

En la desnitrificación alternante las condiciones del medio adecuadas para cada proceso se realizan en secuencia temporal (por aireación intermitente).



**Figura 7. Desnitrificación simultánea y alternante.**

De los tres sistemas expuestos, se adoptará como sistema de tratamiento biológico un sistema de aireación prolongada por nitrificación – desnitrificación por desnitrificación desconectada (simultánea y alternante). Con esto se consigue un volumen anóxico mínimo con el consiguiente ahorro de materiales y con un caudal de recirculación.

Las ecuaciones utilizadas para los cálculos necesarios en la nitrificación, se deducirán en el Anexo 1.

### **7.3 Decantador secundario.**

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

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

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

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

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

Se adoptará en principio un decantador circular, y utilizando un caudal máximo de entrada ( $101,6 \text{ m}^3 / \text{h}$ ), se obtiene una superficie de unos  $137 \text{ m}^2$ , por lo que las dimensiones aproximadas del decantador secundario serán un diámetro de  $13,2 \text{ m}$  y una altura de  $3 \text{ m}$  (Ver Anexo 1)

Para el dimensionado del decantador, el parámetro de diseño principal es la velocidad ascensional, junto con el tiempo de retención y la carga en el vertedero. Normalmente, el diseño de decantadores en un proceso de aireación prolongada consta de distintos parámetros. Para determinarlos, se utilizarán los datos reflejados en la tabla 17, tomada de la bibliografía (Hernández Lehmann, 1997).

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

**Tabla 17. Parámetros de dimensionamiento del decantador secundario**

#### 7.4 Línea de fangos.

Una vez que los fangos pasen por la decantación secundaria, se tendrán dos corrientes de salida procedentes del mismo. Una de estas corrientes será de agua clarificada, mientras que la otra serán los fangos. El agua clarificada irá al cauce receptor y los fangos recircularán al reactor biológico. La fracción de fangos que no recirculen se eliminarán al vertedero de Miramundo.



## 8. COMPENDIO DE LAS DIMENSIONES DE LA PLANTA.

A continuación, se expondrá un resumen de las dimensiones de todos los equipos y sistemas que componen la planta. Todos los cálculos aparecen en el anexo 1 de este proyecto.

### Canal de entrada

El canal de entrada está diseñado para tener las dimensiones suficientes para recibir el agua de los colectores correspondiente al caudal máximo que llega a la planta, esto es 101,6 m<sup>3</sup>/h.

### **Datos de diseño**

Pendiente del canal (S)	0,50 %
Sección	Rectangular
Caudal punta	101,6 m <sup>3</sup> / h
Velocidad de paso	0,9 m / s

### **Cálculos**

Altura útil del canal	0,1 m
Altura de resguardo	0,4 m
Velocidad de agua en canal	0,9 m / s
Longitud	3 m
Ancho	0,3 m

### Canal de desbaste de sólidos

La limpieza de la reja está automatizada, actuando el mecanismo de limpieza por boya de nivel y temporizado. Las principales características que debe tener serán los siguientes:

### ***Datos de diseño***

Ancho del canal	0,5 m
Separación entre barrotes	0,015 m
Ancho de los barrotes	0,012 m
Número de barrotes	33

### ***Cálculos***

Ancho del canal de reja	1 m
Altura útil de los barrotes	0,06 m
Altura de resguardo	0,13 m
Pérdida de carga	10 cm
Cantidad de arena retenida	630,53 l / día
Material	Acero inoxidable AISI - 304
Limpieza	Automática

### ***Desarenador – Desengrasador***

Para el diseño de esta depuradora se escogerá el desarenador aireado ya que, su utilización presenta reducciones en la acumulación de arenas, unas arenas más limpias, un mayor porcentaje de eliminación y una facilidad del ajuste de la cantidad de aire suministrado.

Las dimensiones útiles en la planta serán de 1,37 m x 5,1 m.

### ***Datos de diseño***

Caudal medio	95,9 m <sup>3</sup> /h
Caudal máximo	101,6 m <sup>3</sup> / h
Diámetro de partícula	0,10 mm
Velocidad horizontal crítica	0,2 m / s
Velocidad de sedimentación	0,005 m / s

### **Cálculos**

Sección	$a = 1,37 \text{ m}$ $h = 1,37 \text{ m}$ $h_1 = 0,4 \text{ m}$ $h_2 = 0,3 \text{ m}$ $f = 0,3 \text{ m}$
Superficie	$5,6 \text{ m}^2$
Nº Líneas	1
Superficie transversal	$1,88 \text{ m}^2$
Longitud	$V_h \text{ real} = 0,2 \text{ m / s}$ Tiempo de caída $t_o = 84 \text{ s}$ Coeficiente de seguridad: $t / t_o = 2,5$ Tiempo de caída ponderado: $t = 210 \text{ s}$ Longitud teórica = $4,08 \text{ m}$ Longitud efectiva = $5,38 \text{ m}$

### **Producción de arenas y grasas**

Volumen de arenas	35,12 Kg / día
Nº habitantes	11507
Rto eliminación arenas	80%
Volumen grasas	165,70 Kg / día
Rto eliminación grasas	60%
Caudal de aireación	$36,98 \text{ m}^3 / \text{h}$

El volumen de aireación será aportado por 8 difusores de disco a través de un soplante de 43 W

### **Tanque de aireación.**

Se procederá al diseño de un tanque de aireación siguiendo el principio de fangos activos por aireación prolongada con nitrificación – desnitrificación.

Aireadores de superficie	V total = 1995 m <sup>3</sup>
	V anóxico = 332,5 m <sup>3</sup>
	V óxico = 1662,5 m <sup>3</sup>
	Nº de cubas = 1
	Lado = 38 m
	Ancho = 15 m
	Profundidad = 3,5 m
	Lado anóxico = 6,33 m
	Lado óxico = 31,67 m
	Nº Aireadores = 2
	P total a instalar = 50 Kw

### Decantador secundario

Se adoptará en principio un decantador circular, y utilizando un caudal máximo de entrada (101,6 m<sup>3</sup> / h), se obtienen las siguientes dimensiones:

Nº decantadores	1
Diámetro	13,2 m
Altura	3 m
Volumen real	411 m <sup>3</sup>
Superficie	137 m <sup>2</sup>
Inclinación de la solera	5 %

Las aguas clarificadas saldrán por un rebosamiento en el centro del tanque e irán a parar a una tubería que las conducirá a la zona de vertido.

### Conexión entre equipos

Las conexiones entre los equipos se harán a través de tuberías de acero inoxidable AISI – 304. En el caso del pretratamiento, se efectuarán a través de canales abiertos.

Se establecerá una distancia entre equipos de 3 m, ya que se considera suficiente para permitir el paso tanto de personas como de maquinaria y poder realizar de esta forma, las tareas de conservación y mantenimiento de una manera eficaz.

## **9.- MANTENIMIENTO**

Por mantenimiento se entiende el conjunto de acciones oportunas, continuas y permanentes dirigidas a prever y asegurar el funcionamiento normal, la eficiencia y la buena apariencia de sistemas, edificios, equipos y accesorios.

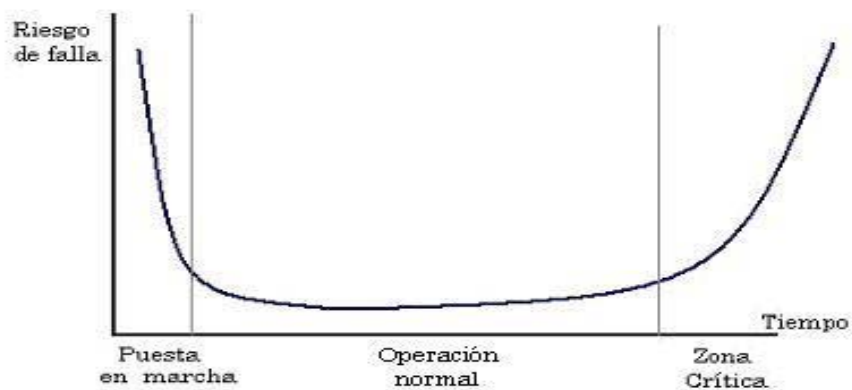
El objetivo buscado por el mantenimiento es contar con instalaciones en óptimas condiciones en todo momento, para asegurar una disponibilidad total del sistema en todo su rango de rendimiento, lo cual está basado en la carencia de errores y fallos. El mantenimiento debe procurar un desempeño continuo y operando bajo las mejores condiciones técnicas, sin importar las condiciones externas (ruido, polvo, humedad, calor, etc.) del ambiente al cual esté sometido el sistema. El mantenimiento además debe estar destinado a:

- Optimizar la producción del sistema.
- Reducir los costos por averías.
- Disminuir el gasto por nuevos equipos.
- Maximizar la vida útil de los equipos.

Los procedimientos de mantenimiento deben evitar los fallos, entendiéndose un fallo como la incapacidad para desarrollar un trabajo en forma adecuada o simplemente no desarrollarlo. Un equipo puede estar "fallando" pero no estar averiado, puesto que sigue realizando sus tareas productivas, pero no las realiza con el mismo rendimiento que un equipo en óptimas condiciones. En cambio un equipo averiado no podrá desarrollar tareas bajo ninguna circunstancia.

El momento ideal para llevar a cabo la operación de mantenimiento puede ser determinado desde muchos puntos de vista, a los cuales les va a corresponder un determinado tipo de mantenimiento. Teóricamente existe la llamada "curva de falla", la cual indica la probabilidad de la ocurrencia de averías y fallos para determinadas etapas de operación de la planta en función del factor tiempo. Así se tiene:

- Riesgo elevado en la etapa de implementación de la planta y puesta en marcha de los equipos.
- Riesgo bajo en la etapa de operación de la planta (siempre que los equipos reciban los cuidados y reparaciones adecuadas)
- Riesgo elevado en la etapa de operación de la planta después de que ha cumplido el ciclo de vida de los equipos (los cuales si reciben un óptimo mantenimiento podrían operar sin la presencia de fallas).



**Figura 4. Curva de falla**

El coste que implica la gestión y el desarrollo del mantenimiento no debe ser excesivo, más bien debe estar acorde con los objetivos propios del mantenimiento, pero sin denotar por ejemplo, un costo superior al que implicaría el reemplazo por maquinaria nueva. Entre los factores de coste se tendrían: mano de obra, coste de materiales, repuestos, piezas nuevas, energía, combustibles, pérdidas por la no producción.

Inevitablemente todo equipo, maquinaria, instrumento, o edificación se va a deteriorar por el paso del tiempo. Una medida útil para aproximar el coste del desarrollo del mantenimiento esta dado por la siguiente expresión:

$$[\text{Coste de mantenimiento} / \text{Activos fijos mantenibles}] \times 100$$

Donde el Coste de mantenimiento está dado por el valor en dinero gastado en las operaciones desarrolladas; y los Activos fijos mantenibles son aquellos equipos, maquinarias y construcciones revaluados a precios corrientes y correspondientemente depreciados.

En cuanto al departamento de mantenimiento dentro de una empresa, hay que tener en cuenta que dentro de las diversas áreas de ésta, una de ellas se debe encargar de llevar a cabo las operaciones de planeamiento y realización del mantenimiento. Este área es denominada comúnmente como departamento de mantenimiento y tiene como deber principal función instalar, supervisar, mantener, y cuidar las instalaciones y equipos que conforman la fábrica.

El departamento de mantenimiento a su vez divide sus responsabilidades en varias secciones, así tenemos por ejemplo:

- Sección Mecánica: conformada por aquellos encargados de instalar, mantener, y reparar las maquinarias y equipos mecánicos.
  
- Sección Eléctrica: conformada por aquellos encargados de instalar, mantener, y reparar los mandos eléctricos, generadores, subestaciones, y demás dispositivos de potencia.
  
- Sección Electrónica: conformada por aquellos encargados del mantenimiento de los diversos dispositivos electrónicos.
  
- Sección Informática: tienen a su cargo el mantener en un normal desarrollo las aplicaciones de software.

- Sección Civil: conformada por aquellos encargados del mantenimiento de las construcciones, edificaciones y obras civiles necesarias para albergar a los equipos.

En cuanto a la elección del tipo de organización del mantenimiento se debe decir que es un paso fundamental para conseguir el éxito del servicio. Es necesario crear una estructura que funcione con independencia del individuo y de su actitud ante la empresa. No existe una organización de mantenimiento óptima que pueda acomodarse a cualquier tipo de industria. La estructura de la organización depende tanto del tamaño como del tipo de fabricación de la empresa. Quizás la primera consideración a la hora de organizar el servicio de mantenimiento sea la de decidir si se adopta un sistema centralizado ó descentralizado. Cuando se trata de empresas de tamaño pequeño ó medio, que pueden tener todos sus efectivos muy localizados y con un área geográfica de actuación muy próxima, la mejor organización es un mantenimiento centralizado.

Sin embargo, si se considera un tamaño de empresa grande, con una diversidad relativa de fabricaciones, una cierta integración entre ellas y un conjunto de anexos ó unidades componentes de cada fabricación, las ventajas no son similares con uno u otro sistema.

El mantenimiento centralizado lleva consigo un mejor control, mientras que el mantenimiento descentralizado tiene la ventaja de la especialización y normalmente es más rápido de respuesta ante una parada, una reparación ó incluso las revisiones. Por ello, en empresas grandes y complejas, es más recomendable un híbrido de mantenimiento centralizado y descentralizado de forma que pueden adaptarse las ventajas de ambos sistemas con muy pocos de sus inconvenientes.

Con respecto a los tipos de mantenimiento, existen cuatro tipos reconocidos de operaciones de mantenimiento, los cuales están en función del momento en el tiempo en que se realizan, el objetivo particular para el cual son puestos en marcha, y en función a los recursos utilizados:



### *Mantenimiento correctivo*

Este mantenimiento también es denominado "mantenimiento reactivo". En una depuradora, muchas veces, es necesario realizar actividades de corrección, rediseño o mejora de equipos o instalaciones existentes. Este tipo de mantenimiento tiene lugar después de aparecer una avería, es decir, sólo actuará cuando se presente un error en las instalaciones de la depuradora. Este mantenimiento trae consigo las siguientes consecuencias:

-Paradas no previstas en el proceso productivo, disminuyendo las horas operativas.

-Afecta a las cadenas productivas, es decir, los ciclos productivos posteriores se verán parados a la espera de la corrección de la etapa anterior.

-Presenta costes por reparación y repuestos no presupuestados, por lo que se dará el caso que por falta de recursos económicos no se podrán comprar los repuestos en el momento deseado.

-La planificación del tiempo, que estará el sistema fuera de operación, no es predecible.

### *Mantenimiento preventivo.*

Este mantenimiento también es denominado "mantenimiento planificado", tiene lugar antes de que ocurra un fallo o avería. Se efectúa bajo condiciones controladas sin la existencia de ningún error en el sistema. Se realiza en función de la experiencia y pericia del personal a cargo, los cuales son los responsables de determinar el momento necesario para llevar a cabo dicho procedimiento. El fabricante también puede estipular el momento adecuado a través de los manuales técnicos.

### *Mantenimiento predictivo.*

Consiste en determinar en todo instante la condición técnica (mecánica y eléctrica) real de la máquina examinada, mientras esta se encuentre en pleno funcionamiento. Para ello, se hace uso de un programa sistemático de mediciones de los parámetros más importantes de los equipos de la depuradora.

El mantenimiento predictivo tiene como objetivo disminuir las paradas por mantenimientos preventivos y de esta manera minimizar los costes por mantenimiento y por no producción. La implementación de este tipo de métodos requiere de inversión en equipos, en instrumentos y en contratación de personal cualificado. Las técnicas utilizadas para la estimación del mantenimiento predictivo son los analizadores de Fourier (para el análisis de vibraciones), la endoscopia (para poder ver lugares ocultos), los ensayos no destructivos (a través de líquidos penetrantes, ultrasonidos, radiografías, partículas magnéticas, entre otros), termovisión (detección de condiciones a través del calor desplegado) y la medición de parámetros de operación (viscosidad, voltaje, corriente, potencia, presión, temperatura...)

### *Mantenimiento proactivo.*

Este mantenimiento tiene como fundamento los principios de solidaridad, colaboración, iniciativa propia, sensibilización y trabajo en equipo, de modo que todos los involucrados directa o indirectamente en la gestión del mantenimiento deben conocer la problemática del mantenimiento, es decir, que tanto los técnicos como los profesionales, ejecutivos o directivos deben conocer las actividades que se llevan a cabo para desarrollar las labores de mantenimiento. Cada individuo desde su cargo o función dentro de la organización, actuará de acuerdo al mismo, asumiendo un rol en las operaciones de mantenimiento, bajo la premisa de que se debe atender las prioridades del mantenimiento en forma oportuna y eficiente. El mantenimiento proactivo implica contar con una planificación de operaciones, la cual debe estar incluida en el Plan Estratégico de la organización. Este mantenimiento

debe incluir informes dirigidos a la gerencia, respecto del progreso de las actividades, los logros, aciertos, y también errores.

Practicar el mantenimiento no significa solamente reparar las máquinas que se averían, sino que implica además, adaptar los recursos (hombres, medios y materiales) a las exigencias reales de las instalaciones, del modo más económico posible.

Cuando se trata de fijar la estructura de una instalación nueva se tiene la oportunidad de elegir los medios humanos para realizar la función, pero no se tiene el dato concreto de cuál va a ser la carga de trabajo. En el caso de estudiar una instalación en marcha, puede estudiarse con cierta precisión la naturaleza y valor de la carga de trabajo, pero el tamaño y composición de la plantilla viene dado de antemano.

#### ASISTENCIA TÉCNICA:

En el desarrollo de sus actividades, mantenimiento necesita un soporte técnico que garantice y mejore la calidad de las intervenciones. A ésta función se le denomina asistencia técnica de mantenimiento.

Básicamente ha de estudiar las averías que se presentan ó que son susceptibles de presentarse, adoptando el criterio más adecuado para su reparación ó prevención si es posible. Otras veces habrá la necesidad de introducir modificaciones de diseño, de materiales ó de operación, tendentes a evitar la avería o se recomendará introducir instrucciones de mantenimiento preventivo o iniciar un proceso de formación en algún área de mantenimiento. Del mismo modo, se ha de disponer de toda la información precisa para acometer intervenciones sobre cualquier equipo instalado en la depuradora.

#### GESTIÓN DE MATERIALES:

En la mayor parte de los trabajos ejecutados en el mantenimiento se utiliza algún tipo de repuesto, pequeño material o consumibles. La función de

gestión de materiales tiene por objetivo asegurar que la función ejecución va a disponer del material preciso en el momento preciso y eso dentro del contexto general de optimización de mantenimiento.

Para ello, será preciso definir: los materiales que se deben tener en stock y cuáles no, los niveles de existencias en almacén, los criterios de reposición, la política de reaprovisionamiento, etc.

### CONTRATACIÓN DE SERVICIOS.

La ejecución de los trabajos de mantenimiento puede realizarse con personal perteneciente a la plantilla propia de la empresa ó con personal contratado de otra compañía especializada en estos tipos de trabajo. La función de contratación de servicios tiene como misión evaluar los contratistas más adecuados para cada tipo de trabajo y determinar si procede o no su homologación; establecer procedimientos de contratación que se basen en el cumplimiento de las normas vigentes y en los mejores requisitos de calidad y precio; desarrollar sistemas de supervisión y control que garanticen el cumplimiento de las condiciones contractuales.

### CONTROL DE GESTIÓN.

Esta función ha de colaborar y analizar en primer lugar los datos relativos a los costes y a la disponibilidad. Igualmente supone poner en manos del resto de funciones los datos precisos y necesarios para analizar los resultados que vengan influenciados por sus acciones. En este contexto se han de controlar las desviaciones del presupuesto, la aparición de averías repetitivas, el cumplimiento de los procedimientos y normas, la productividad de la plantilla, el cumplimiento de los programas de mantenimiento preventivo, la actuación de las empresas externas, etc.

## **10.- SEGURIDAD E HIGIENE.**

A la hora de proyectar la EDAR se debe tener en cuenta las normas de Seguridad e Higiene en todo lo referente a accesos, ventilación forzada, equipos de seguridad general y personal, etc.

Mención aparte es procurar que en el proyecto los equipos electromecánicos sean de la mejor calidad, que las protecciones anticorrosivas previstas sean suficientes, para el alto grado de agresividad química existente en el ambiente de una EDAR, que se proyecten instalaciones que permitan un ahorro de energía eléctrica, como condensadores, variadores de velocidad en motores etc., en definitiva llevar a cabo una supervisión con el fin de conseguir que la futura explotación tenga el menor coste posible.

Durante la fase de construcción y montaje debe cuidarse, no sólo que los anteriores criterios se concreten en esta fase, sino que además se tengan en cuenta otros, entre los que cabe citar:

-Que los montajes se realicen teniendo en cuenta en todo momento que alguna vez será necesario proceder a su desmontaje.

-Que la explotación va a ser realizada por personas, por lo que se cuidará, que los accesos sean cómodos y fáciles, que no haya zonas poco ventiladas donde se puedan acumular gases tóxicos o se puedan crear zonas de anoxia o falta de oxígeno, que las tapas de arquetas sean ligeras y resistentes, etc.

Merece destacar dos aspectos fundamentales para la explotación que deben concretarse en esta fase: el primero, es la recopilación de toda la información técnica, sobre todos y cada uno de los equipos electromecánicos, planos constructivos de los mismos, de las redes de tuberías y eléctricas, instrucciones de mantenimiento, listas de piezas, firmas distribuidoras de las distintas marcas, repuestos aconsejables, esquemas eléctricos, etc.

Toda esta información debe estar recopilada y comprobada su exactitud antes de la puesta en servicio de la EDAR.

El segundo aspecto es la estandarización de productos fungibles como grasas, aceites, etc., que debe realizarse antes de la puesta en marcha y que redundará en un menor coste de mantenimiento preventivo, al reducirse los stocks de almacenamiento y la posibilidad de averías por errores en la reposición ó sustitución de los productos.

Para ello es fundamental que parte del futuro personal técnico y de mantenimiento adscrito a la explotación de la EDAR colabore estrechamente con la dirección técnica de las obras durante las últimas fases de montaje y construcción, a fin de conseguir una continuidad entre la construcción, las pruebas de funcionamiento y la explotación propiamente dicha.

En cuanto a las medidas higiénicas, en una depuradora de aguas residuales hay que tener en cuenta que es un foco infeccioso importante, dado que las aguas residuales están compuestas, entre otros elementos, por microorganismos patógenos.

La OMS señala entre las medidas de seguridad para los operadores de EDARs las siguientes:

- La planta debe contar siempre con un depósito de agua limpia, jabón y lejía. Es aconsejable el uso de toallas desechables de papel, para evitar que las de tela permanezcan demasiado tiempo sin lavar.
- La verja de entrada debe mantenerse cerrada incluso cuando el operador esté trabajando en el recinto.
- Todas las herramientas de trabajo deben lavarse con agua limpia después de su uso, antes de ser guardadas.

- Antes de empezar su labor como operador la persona seleccionada para este trabajo debe recibir formación en primeros auxilios.
- El operador debe disponer de guantes y botas de goma, casco de trabajo y, al menos, dos monos. Si se hace alguna comida en el recinto de la depuradora debe existir un área para dicho fin, evitando en todo momento comer a la vez que se está efectuando alguna labor que pueda ocasionar el contacto de la comida con algún elemento que haya estado en contacto, a su vez, con aguas residuales o fangos.
- Los cortes, abrasiones y arañazos que pueda sufrir el operador deben desinfectarse inmediatamente después de que se hayan producido.
- La depuradora debe contar con un botiquín en el que se incluya como mínimo, algodón, esparadrapo, tijeras, pinzas, mercromina o similar, y una disolución detergente desinfectante. También es conveniente que el operador disponga de algún líquido repelente para evitar las picaduras de mosquitos u otros insectos que puedan existir en el entorno.
- Si la planta dispone de electricidad, el operador debe también ocuparse del mantenimiento de equipos eléctricos.
- El operador debe vacunarse contra el tétano y fiebres tifoideas, así como otras posibles enfermedades que indiquen las autoridades sanitarias del área. También debe someterse a un chequeo médico periódico.

## **11.- IMPACTO AMBIENTAL**

El trámite del Informe Ambiental se aplica para prevenir los posibles efectos ambientales de actuaciones cuya trascendencia supera normalmente el ámbito puramente local y cuyas características aconsejan la intervención de la Administración Autonómica, pero que no precisan de la complejidad documental y procedimental del trámite de Evaluación de Impacto Ambiental.

La recopilación de la presente información ambiental se realiza para satisfacer los requisitos del Decreto 153/1996, de 30 de abril, donde se aprueba el Reglamento de Informe Ambiental que desarrolla la regulación de este aspecto contenido en el Capítulo III del Título II de la Ley 7/1994, de 18 de mayo, de Protección Ambiental, de la Comunidad Autónoma de Andalucía.

El proyecto de actuación consiste en la construcción de la Estación Depuradora de Aguas Residuales (E.D.A.R.) del municipio de Medina Sidonia (Cádiz), actividad incluida en el Anexo del Decreto 153/1996, concretamente en el punto 33, "Estaciones depuradoras y depósitos de fangos".

### **11.1 Normativa Vigente.**

Tanto durante la fase de ejecución del proyecto como, posteriormente, durante la fase de operación, se cumplirá con la Legislación medioambiental vigente, que se enumera a continuación.

#### **LEGISLACION DE AMBITO NACIONAL**

##### *Contaminación Atmosférica*

- Ley 38/1972, de 22 de diciembre, de Protección del Ambiente Atmosférico.

- Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación.



- Decreto 833/1975, de 6 de Febrero, por el que se desarrolla la Ley 38/1972.

- Real Decreto 1613/1985, de 1 de Agosto, por el que se modifica parcialmente el Decreto 833/1975.

- Orden de 18 de octubre de 1.976, sobre Prevención y Corrección de la Contaminación de la Atmósfera de origen industrial.

### *Contaminación de las Aguas*

- Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas.

- Real Decreto 606/2003, de 23 de mayo, por el que se modifica el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los Títulos preliminar, I, IV, V, VI y VIII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas.

### *Residuos Sólidos*

- Real Decreto 833/1988, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento para la ejecución de la Ley 20/1986.

- Real Decreto 952/1997, de 20 de junio por el que se modifica parcialmente el Real Decreto 833/1988.

- Orden de 28 de febrero de 1989 por la que se regula la Gestión de aceites usados.

- Ley 10/1998, de 21 de Abril de residuos.

## LEGISLACION DE LA COMUNIDAD AUTONOMA DE ANDALUCIA

- Ley 7/1994, de 18 de mayo, de Protección Ambiental.
- Decreto 153/1996, de 30 de abril de 1996, por el que se aprueba el Reglamento de Informe Ambiental.
- Decreto 74/1996, de 20 de febrero, por el que se aprueba el Reglamento de la Calidad del Aire de la Comunidad Autónoma de Andalucía.
- Orden de 23 de febrero de 1.996, que desarrolla el Decreto 74/1996, de 20 de febrero por el que se aprueba el Reglamento de Calidad del Aire, en materia de medición, evaluación y valoración de ruidos y vibraciones.
- Decreto 283/1995, de 21 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de Residuos de la Comunidad Autónoma de Andalucía.

### **11.2 Evaluación del impacto ambiental.**

#### **11.2.1 Acciones susceptibles de causar impactos.**

Las acciones susceptibles de causar impactos, se encuentran en las fases de construcción y la de explotación.

En la fase de construcción las acciones susceptibles de causar impactos están en los movimientos de tierra y el movimiento de maquinaria pesada (ruidos, degradación, polvo, contaminación...)

En la fase de explotación las acciones susceptibles de causar impactos están en el establecimiento de estructuras permanentes en el paisaje y en los olores derivados de la explotación de la E.D.A.R.

## **11.2.2 Impactos producidos en el medio.**

### *a) SOBRE LA FAUNA.*

Peces. La depuración de los vertidos al río Iro beneficiará a las especies.

Mamíferos. Las especies de mamíferos que se crían en los terrenos cercanos no tienen valor de singularidad, rareza o escasez. Por otra parte, los hábitats utilizados para la construcción de la E.D.A.R. (matorral y monte bajo), tienen una alta representación en la zona y las poblaciones desplazadas o eliminadas podrán recuperarse en nichos equivalentes no afectados.

Aves. Las zonas de nidificación de las especies más significativas del área estudiada, quedan fuera de la acción de la E.D.A.R. Al igual que ocurre con los mamíferos, estas especies se refugian en la zona sur del municipio, o en los terrenos inaccesibles y frondosos.

### *b) SOBRE LA VEGETACIÓN.*

Se distinguirán dos tipos de efectos en este apartado:

#### 1.- Vegetación ribereña y orillas naturales.

Se trata de un efecto inevitable que deriva de la construcción de la planta. En las orillas de los ríos tienen lugar peculiares microclimas, que dan como consecuencia ecosistemas complejos diferentes a los ecosistemas zonales.

Por ello las comunidades animal y vegetal son peculiares y adaptadas a las condiciones de sombra, frescor y humedad que proporciona este nicho ecológico.

Aunque no se prevé ninguna afección directa del proyecto sobre esta comunidad vegetal, será necesario contemplar su protección de acciones

indirectas (movimiento de maquinaria pesada durante la obra, escombreras, vertidos, etc.).

## 2.- Desaparición de vegetación de ladera.

A pesar de la no existencia de cultivos agrícolas de gran importancia en la zona, dentro de la vegetación de ladera se pueden encontrar especies como chaparros, quejigos y madroños que aparecen diseminados por la zona.

Estas especies desaparecerán, pero carecen de valor específico de rareza, debido a que son el tipo característico de comunidad vegetal del Parque Natural de los Alcornocales y todo el sur del término municipal de Medina Sidonia. Sin embargo, no se debe olvidar que poseen un valor ecológico genérico como refugios de fauna y flora.

### c) *SOBRE EL PAISAJE.*

Los efectos causados sobre el paisaje son los siguientes:

- Desaparición de los paisajes afectados por la construcción de la E.D.A.R.

- Incorporación de elementos nuevos a la zona paisajística:

\* Planta depuradora.

\* Anillo de tierra que rodea el terraplén elevado de la planta cerca de la orilla del río.

\* Modificaciones del paisaje debidas a acciones complementarias.

\* Canteras o depósitos necesarios para la construcción.

### **11.2.3 Efectos causados por la explotación de la E.D.A.R.**

En general, cuando una Estación Depuradora de aireación prolongada funciona correctamente, no debe producir malos olores. No obstante, en la E.D.A.R. que concierne a este estudio, se efectuará la plantación de especies vegetales aromáticas como romeros y rosales, que además de servir para el ajardinamiento de la parcela, proporcionarán, gracias a su agradable aroma, una disminución de los posibles malos olores causados por el espesador, aunque éste se procederá a cubrirlo con un material plástico desmontable.

### **11.3 Valoración de impactos.**

1- *En cuanto a la modificación del régimen fluvial aguas debajo de la EDAR*, se debe decir que se trata de un impacto beneficioso, al tener consecuencias positivas sobre el medioambiente. Es una acción permanente y que repercute directamente sobre el medio, aunque no afecta a ningún medio protegido. Pero hay que tener en cuenta que existe una alta probabilidad de riesgo de aparición del efecto.

2- *Atendiendo a la destrucción de hábitats para la fauna* hay que tener en cuenta que se trata de un impacto adverso, al producir consecuencias negativas para el medio ambiente. Es un efecto localizado, permanente y que repercute directamente sobre el medio. Sin embargo, no afecta a ningún medio protegido.

Por otro lado, cabría decir que es un efecto irreversible e irrecuperable, ya que no es posible la recuperación natural (sin intervención humana) de las condiciones originales, una vez desaparecida la acción. Actualmente no existen medidas correctoras tendentes a paliar los efectos de este impacto. Existe una probabilidad alta de riesgo de aparición de este efecto.

Por último, decir que la magnitud del impacto será moderada, ya que su recuperación no precisa medidas correctoras o protectoras intensivas. Además, la consecución de las condiciones ambientales iniciales requiere cierto tiempo.

3- La *desaparición de comunidades vegetales* es un impacto adverso, pues las consecuencias para el medioambiente son negativas. Se trata de un tipo de acción directa, ya que repercute directamente sobre un elemento del medio, aunque no afecta a ningún medio protegido. Además, es un impacto permanente, localizado, irrecuperable, irreversible y de magnitud moderada. Actualmente no existen medidas correctoras tendentes a paliar los efectos de este impacto y existe una probabilidad alta de riesgo de aparición de este efecto.

4- *Con respecto al efecto de la E.D.A.R. sobre el paisaje*, decir que se trata de impacto adverso, de acción directa, permanente, localizado, de magnitud moderada, irreversible, irrecuperable y que no afecta a ningún medio protegido.

En cuanto a la existencia medidas correctoras, se aplicaran cuidados generales de acondicionamiento.

5- *En relación a los efectos de la E.D.A.R. en cuanto a aparición de olores*, hay que tener en cuenta que es un impacto adverso, localizado, de acción directa, reversible, recuperable y de magnitud moderada. El efecto que produce este impacto es temporal.

En cuanto a la existencia de medidas correctoras, se debe decir que se aplicará un dimensionamiento adecuado. Se diseñarán plantaciones perimetrales.

#### **11.4 Conclusiones.**

La principal conclusión que se puede extraer, tras el análisis de las características de los distintos elementos del medio biológico, es que ninguno de éstos presenta un elevado valor de conservación.

El paisaje es, sin embargo, el elemento del medio más afectado por las acciones de este proyecto, aunque no presenta valores especialmente notables.

Existe la posibilidad de aplicar medidas correctoras parciales. Estas medidas se expondrán a continuación:

- Los movimientos de tierra, el tránsito de materiales y transporte de éstos debe realizarse cumpliendo con las condiciones indispensables de seguridad. De esta manera se evitan o minimizan en lo posible cualquier alteración de tipo contaminante, tales como ruidos, polvo atmosférico o gases contaminantes, entre otros.

- Es recomendable, en la medida de lo posible, el uso de materiales procedentes de la excavación en el relleno de zanjas y terraplenes con el fin de no constituir o constituir mínimamente la presencia de vertederos o escombreras.

- Se realizarán siembras en los taludes de los terraplenes de la planta, a fin de suavizar el impacto visual de las elevaciones sobre la planicie dominante.

- Se llevarán a cabo plantaciones de tomillo y romero autóctono a lo largo de la planta para disminuir en lo posible la incidencia de olores producidos en el espesador.

## 12. BIBLIOGRAFÍA.

- **Hernández Muñoz, A.H. Lehmann, P. Galán Martínez**, “Manual de depuración Uralita – sistemas para depuración de aguas residuales en núcleos de hasta 20.000 habitantes”; URALITA Productos y Servicios, S.A.; Madrid 1995.
- **Aurelio Hernández Lehmann**, “Manual de Diseño de Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales”, Colegio de Ingenieros de Caminos y Puertos, Madrid, 1997.
- **Aurelio Hernández Muñoz**, “Depuración de Aguas Residuales”, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Madrid, 1990.
- **Metcalf & Eddy**, “Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización” (3ª edición), McGraw-Hill, Madrid, 1995.
- **Aurelio Hernández Muñoz, A.** “Saneamiento y Alcantarillado. Vertidos Residuales”. Colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 1997.
- **Ramalho, R.S.** “Tratamiento de Aguas Residuales”. Editorial Reverté.
- **Ronzano, E., Dapena J.L.** “Tratamiento Biológico de las Aguas Residuales”. CRIDESA, 2002.
- **Streeter, V. L., Benjamín Wyle, E.** “Mecánica de Fluidos”. Editorial McGraw – Hill, 2000
- **Sistema de Información Multiterritorial de Andalucía**  
[www.juntadeandalucia.es/institutodeestadistica](http://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadistica)
- **Wikipedia, La Enciclopedia Libre. (www.wikipedia.es)**



## ÍNDICE ANEXO 1

1. ESTIMACIÓN DE LA POBLACIÓN.	2
2. ESTIMACIÓN DEL CAUDAL MEDIO.	5
3. ESTIMACIÓN DEL CAUDAL MÁXIMO.	5
4. CANAL DE ENTRADA.	6
5. CANAL DE DESBASTE.	14
5.1. Anchura del canal de rejilla.	16
5.2. Pérdida de carga.	18
5.3. Material retenido.	22
6. DESARENADOR – DESENGRASADOR.	22
6.1. Velocidad horizontal crítica.	24
6.2. Velocidad de sedimentación.	24
6.3. Parámetros de dimensionamiento del desarenador.	25
6.3.1. Velocidad de sedimentación.	25
6.3.2. Relaciones adimensionales.	25
6.3.3. Sección transversal.	32
6.3.4. Necesidades de aireación.	35
6.3.5. Cantidad de arenas retenidas.	46
7. TRATAMIENTO SECUNDARIO O BIOLÓGICO.	48
7.1. Dimensionamiento del reactor biológico.	48
7.2. Rendimiento del proceso	54
7.3. Volumen del reactor.	55
7.4. Necesidades teóricas de oxígeno.	59
7.5. Necesidades reales de oxígeno.	65
7.6. Potencia a instalar.	69

7.7. Caudal de recirculación.	69
7.8. Caudal de purga.	70
7.9. Balance de materia para sólidos no volátiles.	72
7.10. Producción total de lodos.	73
7.11. Cálculo de la $DBO_5$ en la alimentación combinada, $S_o$ , $X_{V,O}$ .	74
7.12. Consumo de nutrientes.	74
7.13. Cálculo de la $DBO_5$ total.	76
8. DECANTACIÓN SECUNDARIA.	77
8.1. Cálculo de las dimensiones del decantador.	78
9. BALANCE GLOBAL AL FÓSFORO.	83
10. NITRIFICACIÓN – DESNITRIFICACIÓN.	84
11. PH Y ALCALINIDAD.	89

## **ANEXO 1 DIMENSIONAMIENTO.**

### **Bases de partida.**

Esta EDAR va a recoger las aguas residuales del término municipal de Medina Sidonia.

Ante la falta de una analítica particular para esta población, se van a considerar como parámetros de diseño los valores reflejados en la tabla 1 (Aurelio Hernández, 1997), que han sido deducidos teniendo en cuenta las características de la población de Medina Sidonia:

<b>PARAMETRO</b>	<b>CONCENTRACION (MG / L)</b>
SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	381,3
- Volátiles	266,7
- Fijos	114,6
DBO <sub>5</sub> a 20°C	254,2
DQO	500
OXIGENO DISUELTO	0
NITROGENO TOTAL (TKN)	40
- N-NO <sub>2</sub> (Nitritos)	0
- N-NO <sub>3</sub> (Nitratos)	0
- N-NH <sub>4</sub> (Amoníaco)	30
- N orgánico	10
FÓSFORO TOTAL	10
- P-PO <sub>4</sub>	7
- P Orgánico	3
CLORUROS	125
pH	6-8
ALCALINIDAD (Como Ca CO <sub>3</sub> )	200
GRASAS	25

**Tabla 1. Parámetros de diseño.**

Las características principales del agua de Medina Sidonia quedan resumidas en la tabla 2:

CONCEPTO	AÑO HORIZONTE
Tipo de agua a tratar	Agua residual urbana
Población	11507
Dotación (l / h-e y día)	200
Altitud topográfica (m):	300
Temperatura media del agua (°C):	12 – 20
Caudal medio: Q <sub>m</sub> (m <sup>3</sup> / h):	95,9
Caudal máximo: Q <sub>máx</sub> (m <sup>3</sup> / h):	101,6
DBO <sub>5</sub> (mg/l):	254,2
DBO <sub>5</sub> (kg / día):	660,6
SST (mg / l):	381,3
SST (kg / día):	990,9

**Tabla 2. Características del agua a tratar.**

### 1. ESTIMACIÓN DE LA POBLACIÓN. (Horizonte de diseño: año 2025)

Para la estimación de la población en el año 2025 se utilizará el llamado método aritmético (Hernández Muñoz, 1997). Este método se basa en considerar un incremento constante de la población y se determina aplicando la ecuación [77]:

$$dP / dt = K_a \quad [77]$$

donde P: Población (miles de habitantes)  
t: Tiempo (años)  
K<sub>a</sub>: Constante de crecimiento aritmético.

Integrando la expresión se llega a lo siguiente:

$$P_2 = P_1 + K_a(t_2 - t_1) \quad [78]$$

donde  $P_1$  es la población de Medina en el tiempo  $t_1$  y  $P_2$  es la población en el tiempo  $t_2$  (la del último censo).

Se procederá por tanto, al cálculo de la población en 2025, utilizando para ello los datos suministrados por el censo (Instituto Nacional de Estadística).

<b>AÑO</b>	<b>POBLACIÓN *</b>
1900	11040
1910	11602
1920	13416
1930	10923
1940	12486
1950	14889
1960	16190
1970	13651
1981	14651
1991	15877

**Tabla 3 a. Datos de población**

<b>AÑO</b>	<b>POBLACIÓN *</b>
1996	10750
1997	.
1998	10872
1999	10844
2000	10793
2001	10775
2002	10770
2003	10811
2004	10802

**Tabla 3 b. Datos de población**

Datos: La población de Medina en 1996 era de 10750 habitantes.

Población de Medina en 2005: 10985 habitantes.

Aplicando la ecuación [79], que define el método aritmético, se calculará  $K_a$  utilizando los censos de 1996 y 2005:

$$K_a = (P_2 - P_1) / (t_2 - t_1) \quad [79]$$

$$K_a = (10985 - 10750) / (2005 - 1996) = 26,11$$

Por tanto, aplicando el método descrito anteriormente, se calculará la población en el 2025

$$P_1 = P_2 + K_a (t_1 - t_2)$$

$$P_1 = 10750 = P_2 + 26,11 (1996 - 2025)$$

$$P_2 = 11507,19 \text{ habitantes.} \approx 11507 \text{ habitantes.}$$

## 2. ESTIMACIÓN DEL CAUDAL MEDIO.

Para la estimación del caudal medio obtenido en un período de tiempo de 24 horas, se utilizará el dato de población calculado anteriormente. Se utilizará la ecuación [80] (Hernández Muñoz, 1997):

$$Q_{\text{med}} = \text{Población futura} \cdot \text{Dotación} \quad [80]$$

Según la bibliografía (Hernández Muñoz, 1997), a poblaciones con 6000-12000 habitantes les corresponde un valor de dotación de 200 l / hab-día.

$$Q_{\text{med}} = 11507 \text{ hab} \cdot 200 \text{ l / hab-día} \cdot 1\text{m}^3 / 1000 \text{ l} = 2301,6 \text{ m}^3 / \text{día}$$

$$Q_{\text{med}} = 95,9 \text{ m}^3 / \text{h}$$

## 3. ESTIMACIÓN DEL CAUDAL MÁXIMO.

Para la estimación del caudal máximo se aplicará la ecuación [81], tomada de la bibliografía (Metcalf & Eddy, 1995):

$$Q_p = Q_{\text{med}} \cdot F_p \quad [81]$$

siendo  $F_p$  el llamado Factor Punta

Por ello, en primer lugar se procede al cálculo del Factor Punta, a partir de la siguiente expresión:

$$F_p = 5 / P^{1/6} \quad [82]$$

siendo  $P$  la población en el año 2005

$$F_p = 5 / 10985^{1/6} = 1,06$$

Por todo ello, el caudal punto será:

$$Q_p = 95,9 \cdot 1,06 = 101,6 \text{ m}^3/\text{h}$$

#### 4. CANAL DE ENTRADA.

Para el diseño del canal de entrada, hay que considerar que éste ha de tener las dimensiones suficientes para recibir el agua de los colectores correspondiente al caudal máximo que llega a la planta.

Se dispone de dos líneas de agua para el desbaste. Cada uno de los canales tiene dos compuertas, una al principio y otra al final del mismo, para aislarlo y acometer tareas de mantenimiento y reparación.

El canal de entrada debe cumplir las siguientes características, según la bibliografía (Hernández Lehmann, 1997):

- Sección rectangular.
- Anchura del canal:  $0,3 \text{ m} < c < 0,7 \text{ m}$ .
- Pendiente del canal: 0,5%
- Altura máxima útil: 0,7 m
- Altura de resguardo:  $> 0,4 \text{ m}$
- Velocidad a caudal medio:  $> 0,6 \text{ m} / \text{s}$

Por todo ello, las características que definen al canal de entrada que de la E.D.A.R. de Medina Sidonia será un canal de sección rectangular, con una pendiente del 0,5% y una anchura de canal de 30 cm al ser estos unos valores adecuados al tipo de EDAR que se pretende diseñar.

Aplicando la ecuación de Manning [83] (Hernández Lehmann, 1997), para obtener la velocidad de aproximación del fluido en el canal:



$$V = (1/n) \cdot C_m \cdot R_H^{2/3} \cdot I^{1/2} = Q/S \quad [83]$$

donde  $V$  = Velocidad promedio en la sección transversal.

$R_H$  = Radio hidráulico;  $R_H = S / P_m$

$S$  = Sección.

$P_m$  = Perímetro mojado.

$I$  = Inclinación en el fondo del canal.

$n$  = Factor de rugosidad de Manning.

$C_m$  = Constante empírica, cuyo valor es la unidad en el S.I.

$Q$  = Caudal.

Según la bibliografía (Streeter, 1988), “ $n$ ” toma el valor de 0,012 para hormigón armado acabado.

$$S = 0.3 \cdot h$$

$$P_m = 0.3 + 2 \cdot h$$

$$R_H = S / P_m = 0.3 \cdot h / (0.3 + 2 \cdot h)$$

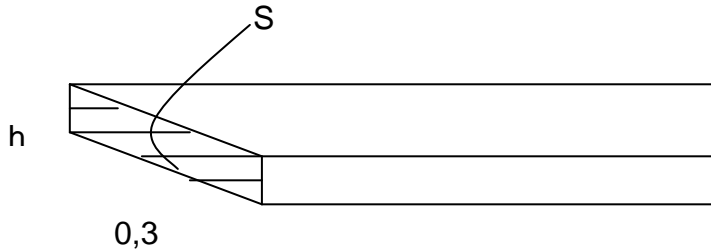
Siendo

$h$  = Altura del canal de entrada.

S = Sección.

$R_H$  = Radio Hidráulico.

$P_m$  = Perímetro mojado.



Con todo ello se procederá al cálculo de la velocidad.

$$V = [(1 / 0,012)] \cdot [(0,3 \cdot h) / ((0,3 + 2 \cdot h)^{(2/3)} \cdot 0,005^{(1/2)})] \text{ [84]}$$

Por ello, para el cálculo se ha construido una hoja de cálculo (una para cada valor de "c" (ancho del canal). Desde c= 0,3m hasta c= 0,7m (Hernández Lehmann, 1997). Probando distintos valores de "h" (altura del canal) y obteniendo distintos valores de "V" (velocidad de paso) y de " $Q_{\text{máx}}$ " (caudal máximo)

c=0.3m						
h(m)	S	R <sub>h</sub>	(R <sub>h</sub> ) <sup>2/3</sup>	V	Q(m <sup>3</sup> /s)	Q(m <sup>3</sup> /h)
0,05	0,015	0,0375	0,11203512	0,66017327	0,0099026	35,6493565
0,1	0,03	0,06	0,15326189	0,90310433	0,02709313	97,5352673
0,2	0,06	0,08571429	0,19440263	1,14552849	0,06873171	247,434155
0,3	0,09	0,1	0,21544347	1,26951282	0,11425615	411,322152
0,4	0,12	0,10909091	0,22831041	1,34533197	0,16143984	581,183412
0,5	0,15	0,11538462	0,23700924	1,39659032	0,20948855	754,158772
0,6	0,18	0,12	0,24328808	1,43358876	0,25804598	928,965516
0,7	0,21	0,12352941	0,24803535	1,46156232	0,30692809	1104,94111
0,8	0,24	0,12631579	0,25175132	1,48345889	0,35603013	1281,70848
0,9	0,27	0,12857143	0,25473951	1,50106697	0,40528808	1459,0371
1	0,3	0,13043478	0,25719486	1,51553523	0,45466057	1636,77804
1,1	0,33	0,132	0,25924832	1,52763539	0,50411968	1814,83084
1,2	0,36	0,13333333	0,26099118	1,53790525	0,55364589	1993,12521
1,3	0,39	0,13448276	0,26248898	1,54673114	0,60322514	2171,61052
1,4	0,42	0,13548387	0,26379004	1,55439773	0,65284705	2350,24937
1,5	0,45	0,13636364	0,26493076	1,56111946	0,70250376	2529,01353
1,6	0,48	0,13714286	0,26593906	1,56706094	0,75218925	2707,8813
1,7	0,51	0,13783784	0,26683675	1,5723506	0,80189881	2886,8357
1,8	0,54	0,13846154	0,26764108	1,57709017	0,85162869	3065,86329
1,9	0,57	0,13902439	0,2683659	1,58136124	0,9013759	3244,95326
2	0,6	0,13953488	0,26902245	1,58523001	0,95113801	3424,09683
2,1	0,63	0,14	0,26961995	1,58875079	1,000913	3603,28679
2,3	0,69	0,14081633	0,27066702	1,59492071	1,10049529	3961,78304
2,4	0,72	0,14117647	0,27112832	1,59763894	1,15030003	4141,08012
2,5	0,75	0,14150943	0,27155445	1,60014996	1,20011247	4320,4049
2,6	0,78	0,14181818	0,2719493	1,60247661	1,24993175	4499,75431
2,7	0,81	0,14210526	0,27231618	1,60463846	1,29975716	4679,12576
2,8	0,84	0,14237288	0,27265796	1,60665244	1,34958805	4858,51699
2,9	0,87	0,14262295	0,27297714	1,60853322	1,3994239	5037,92604
3	0,9	0,14285714	0,27327588	1,61029358	1,44926423	5217,35121
3,1	0,93	0,14307692	0,27355609	1,61194474	1,49910861	5396,79101
3,2	0,96	0,14328358	0,27381945	1,61349656	1,54895669	5576,2441
3,3	0,99	0,14347826	0,27406741	1,61495773	1,59880815	5755,70934
3,4	1,02	0,14366197	0,27430131	1,61633597	1,64866269	5935,18569
3,5	1,05	0,14383562	0,2745223	1,61763816	1,69852006	6114,67223
3,6	1,08	0,144	0,27473142	1,61887041	1,74838004	6294,16814
3,7	1,11	0,14415584	0,2749296	1,62003821	1,79824242	6473,6727
3,8	1,14	0,1443038	0,27511768	1,6211465	1,84810701	6653,18523
3,9	1,17	0,14444444	0,27529642	1,6221997	1,89797365	6832,70516
4	1,2	0,14457831	0,27546649	1,62320184	1,9478422	7012,23193
4,1	1,23	0,14470588	0,2756285	1,62415652	1,99771252	7191,76507
4,2	1,26	0,14482759	0,27578302	1,62506705	2,04758448	7371,30414
4,3	1,29	0,14494382	0,27593056	1,62593642	2,09745798	7550,84872
4,4	1,32	0,14505495	0,27607157	1,62676736	2,14733291	7730,39847
4,5	1,35	0,14516129	0,27620649	1,62756235	2,19720918	7909,95304
4,6	1,38	0,14526316	0,27633569	1,6283237	2,2470867	8089,51213
4,7	1,41	0,14536082	0,27645954	1,62905348	2,29696541	8269,07546
4,8	1,44	0,14545455	0,27657836	1,62975362	2,34684521	8448,64277
4,9	1,47	0,14554455	0,27669245	1,63042589	2,39672606	8628,21382
5	1,5	0,14563107	0,27680208	1,63107192	2,44660789	8807,78839

**Tabla 4. Cálculo 1 para el canal de entrada.**

c=0,4m						
h(m)	S	R <sub>n</sub>	(R <sub>n</sub> ) <sup>2/3</sup>	V	Q(m <sup>3</sup> /s)	Q(m <sup>3</sup> /h)
0,05	0,02	0,04	0,11696071	0,68919759	0,01378395	49,6222265
0,1	0,04	0,06666667	0,16441414	0,9688196	0,03875278	139,510023
0,2	0,08	0,1	0,21544347	1,26951282	0,10156103	365,619691
0,3	0,12	0,12	0,24328808	1,43358876	0,17203065	619,310344
0,4	0,16	0,13333333	0,26099118	1,53790525	0,24606484	885,833426
0,5	0,2	0,14285714	0,27327588	1,61029358	0,32205872	1159,41138
0,6	0,24	0,15	0,28231081	1,66353239	0,39924777	1437,29199
0,7	0,28	0,15555556	0,28923911	1,7043578	0,47722019	1717,99267
0,8	0,32	0,16	0,29472252	1,7366691	0,55573411	2000,64281
0,9	0,36	0,16363636	0,29917127	1,76288359	0,63463809	2284,69714
1	0,4	0,16666667	0,30285343	1,78458096	0,71383239	2569,79659
1,1	0,44	0,16923077	0,30595171	1,80283774	0,79324861	2855,69499
1,2	0,48	0,17142857	0,30859494	1,81841314	0,87283831	3142,2179
1,3	0,52	0,17333333	0,31087662	1,83185804	0,95256618	3429,23825
1,4	0,56	0,175	0,31286624	1,84358198	1,03240591	3716,66128
1,5	0,6	0,17647059	0,31461654	1,85389576	1,11233746	4004,41485
1,6	0,64	0,17777778	0,31616829	1,86303954	1,1923453	4292,44309
1,7	0,68	0,17894737	0,31755348	1,87120183	1,27241724	4580,70208
1,8	0,72	0,18	0,31879757	1,8785327	1,35254354	4869,15676
1,9	0,76	0,18095238	0,31992109	1,88515309	1,43271635	5157,77885
2	0,8	0,18181818	0,32094076	1,89116155	1,51292924	5446,54527
2,1	0,84	0,1826087	0,32187035	1,89663921	1,59317694	5735,43698
2,3	0,92	0,184	0,32350318	1,90626075	1,75375989	6313,53559
2,4	0,96	0,18461538	0,32422407	1,91050868	1,83408834	6602,71801
2,5	1	0,18518519	0,32489086	1,91443775	1,91443775	6891,9759
2,6	1,04	0,18571429	0,32550941	1,91808256	1,99480587	7181,30112
2,7	1,08	0,1862069	0,32608476	1,9214729	2,07519073	7470,68664
2,8	1,12	0,18666667	0,32662131	1,92463452	2,15559066	7760,12638
2,9	1,16	0,18709677	0,32712284	1,92758981	2,23600418	8049,61506
3	1,2	0,1875	0,32759267	1,93035835	2,31643001	8339,14805
3,1	1,24	0,18787879	0,32803373	1,93295728	2,39686703	8628,7213
3,2	1,28	0,18823529	0,32844857	1,93540174	2,47731423	8918,33122
3,3	1,32	0,18857143	0,32883946	1,93770511	2,55777074	9207,97466
3,4	1,36	0,18888889	0,32920843	1,93987925	2,63823578	9497,6488
3,5	1,4	0,18918919	0,32955726	1,94193475	2,71870865	9787,35114
3,6	1,44	0,18947368	0,32988756	1,94388106	2,79918873	10077,0794
3,7	1,48	0,18974359	0,33020077	1,94572667	2,87967547	10366,8317
3,8	1,52	0,19	0,33049818	1,94747918	2,96016835	10656,6061
3,9	1,56	0,1902439	0,33078096	1,94914547	3,04066694	10946,401
4	1,6	0,19047619	0,33105016	1,95073176	3,12117081	11236,2149
4,1	1,64	0,19069767	0,33130673	1,95224366	3,2016796	11526,0466
4,2	1,68	0,19090909	0,33155156	1,95368629	3,28219297	11815,8947
4,3	1,72	0,19111111	0,33178542	1,95506431	3,36271061	12105,7582
4,4	1,76	0,19130435	0,33200903	1,95638196	3,44323225	12395,6361
4,5	1,8	0,19148936	0,33222306	1,95764313	3,52375763	12685,5275
4,6	1,84	0,19166667	0,3324281	1,95885136	3,6042865	12975,4314
4,7	1,88	0,19183673	0,33262472	1,96000993	3,68481867	13265,3472
4,8	1,92	0,192	0,33281341	1,96112184	3,76535392	13555,2741
4,9	1,96	0,19215686	0,33299466	1,96218984	3,84589209	13845,2115
5	2	0,19230769	0,33316889	1,96321649	3,92643298	14135,1587

**Tabla 5. Cálculo 2 para el canal de entrada.**

c=0.5m						
h(m)	S	R <sub>n</sub>	(R <sub>n</sub> ) <sup>2/3</sup>	V	Q(m <sup>3</sup> /s)	Q(m <sup>3</sup> /h)
0,05	0,025	0,04166667	0,12018746	0,70821142	0,01770529	63,7390282
0,1	0,05	0,07142857	0,17215302	1,01442139	0,05072107	182,595851
0,2	0,1	0,11111111	0,23112042	1,36189016	0,13618902	490,280459
0,3	0,15	0,13636364	0,26493076	1,56111946	0,23416792	843,004511
0,4	0,2	0,15384615	0,28711624	1,69184869	0,33836974	1218,13105
0,5	0,25	0,16666667	0,30285343	1,78458096	0,44614524	1606,12287
0,6	0,3	0,17647059	0,31461654	1,85389576	0,55616873	2002,20742
0,7	0,35	0,18421053	0,32374989	1,90771452	0,66770008	2403,72029
0,8	0,4	0,19047619	0,33105016	1,95073176	0,7802927	2809,05373
0,9	0,45	0,19565217	0,3370206	1,98591295	0,89366083	3217,17898
1	0,5	0,2	0,34199519	2,01522598	1,00761299	3627,40676
1,1	0,55	0,2037037	0,34620443	2,04002915	1,12201603	4039,25772
1,2	0,6	0,20689655	0,34981264	2,06129077	1,23677446	4452,38805
1,3	0,65	0,20967742	0,35294018	2,07971998	1,35181799	4866,54476
1,4	0,7	0,21212121	0,35567723	2,09584819	1,46709374	5281,53745
1,5	0,75	0,21428571	0,35809271	2,11008153	1,58256115	5697,22012
1,6	0,8	0,21621622	0,3602402	2,12273574	1,69818859	6113,47892
1,7	0,85	0,21794872	0,362162	2,13406005	1,81395104	6530,22374
1,8	0,9	0,2195122	0,36389194	2,14425381	1,92982843	6947,38236
1,9	0,95	0,22093023	0,36545741	2,15347841	2,04580449	7364,89617
2	1	0,22222222	0,36688081	2,16186588	2,16186588	7782,71716
2,1	1,05	0,22340426	0,36818065	2,16952529	2,27800155	8200,80559
2,3	1,15	0,2254902	0,37046892	2,18300903	2,51046039	9037,65739
2,4	1,2	0,22641509	0,37148127	2,18897436	2,62676923	9456,36922
2,5	1,25	0,22727273	0,37241876	2,19449858	2,74312323	9875,24363
2,6	1,3	0,22807018	0,37328941	2,19962892	2,85951759	10294,2633
2,7	1,35	0,22881356	0,37410011	2,20440605	2,97594817	10713,4134
2,8	1,4	0,2295082	0,37485686	2,20886525	3,09241135	11132,6809
2,9	1,45	0,23015873	0,37556488	2,21303725	3,20890402	11552,0545
3	1,5	0,23076923	0,37622871	2,21694894	3,32542341	11971,5243
3,1	1,55	0,23134328	0,37685238	2,22062395	3,44196712	12391,0816
3,2	1,6	0,23188406	0,37743942	2,22408314	3,55853302	12810,7189
3,3	1,65	0,23239437	0,37799298	2,22734497	3,67511921	13230,4291
3,4	1,7	0,23287671	0,37851582	2,23042589	3,79172401	13650,2064
3,5	1,75	0,23333333	0,37901046	2,23334052	3,90834592	14070,0453
3,6	1,8	0,23376623	0,37947909	2,236102	4,02498359	14489,9409
3,7	1,85	0,23417722	0,37992373	2,23872207	4,14163583	14909,889
3,8	1,9	0,2345679	0,38034618	2,24121134	4,25830154	15329,8856
3,9	1,95	0,23493976	0,38074804	2,24357936	4,37497975	15749,9271
4	2	0,23529412	0,3811308	2,24583478	4,49166956	16170,0104
4,1	2,05	0,23563218	0,38149578	2,24798545	4,60837016	16590,1326
4,2	2,1	0,23595506	0,38184419	2,25003849	4,72508084	17010,291
4,3	2,15	0,23626374	0,38217714	2,25200042	4,84180091	17430,4833
4,4	2,2	0,23655914	0,38249564	2,25387717	4,95852977	17850,7072
4,5	2,25	0,23684211	0,3828006	2,25567416	5,07526686	18270,9607
4,6	2,3	0,2371134	0,38309287	2,25739638	5,19201167	18691,242
4,7	2,35	0,23737374	0,38337323	2,25904839	5,30876373	19111,5494
4,8	2,4	0,23762376	0,38364238	2,26063441	5,42552259	19531,8813
4,9	2,45	0,23786408	0,383901	2,26215832	5,54228788	19952,2364
5	2,5	0,23809524	0,38414968	2,26362368	5,65905921	20372,6132

**Tabla 6. Cálculo 3 para el canal de entrada.**

c=0.6m						
h(m)	S	R <sub>h</sub>	(R <sub>h</sub> ) <sup>2/3</sup>	V	Q(m <sup>3</sup> /s)	Q(m <sup>3</sup> /h)
0,05	0,03	0,04285714	0,12246598	0,72163773	0,02164913	77,936875
0,1	0,06	0,075	0,17784467	1,04795974	0,06287758	226,359304
0,2	0,12	0,12	0,24328808	1,43358876	0,17203065	619,310344
0,3	0,18	0,15	0,28231081	1,66353239	0,29943583	1077,96899
0,4	0,24	0,17142857	0,30859494	1,81841314	0,43641915	1571,10895
0,5	0,3	0,1875	0,32759267	1,93035835	0,5791075	2084,78701
0,6	0,36	0,2	0,34199519	2,01522598	0,72548135	2611,73287
0,7	0,42	0,21	0,35330208	2,08185248	0,87437804	3147,76095
0,8	0,48	0,21818182	0,36242018	2,13558139	1,02507907	3690,28464
0,9	0,54	0,225	0,36993181	2,1798441	1,17711582	4237,61693
1	0,6	0,23076923	0,37622871	2,21694894	1,33016937	4788,60971
1,1	0,66	0,23571429	0,38158439	2,2485076	1,48401501	5342,45405
1,2	0,72	0,24	0,38619575	2,2756803	1,63848982	5898,56335
1,3	0,78	0,24375	0,39020822	2,299324	1,79347272	6456,50179
1,4	0,84	0,24705882	0,39373158	2,32008557	1,94887188	7015,93875
1,5	0,9	0,25	0,39685026	2,3384626	2,10461634	7576,61883
1,6	0,96	0,25263158	0,39963031	2,35484421	2,26065044	8138,34158
1,7	1,02	0,255	0,40212412	2,36953908	2,41692987	8700,94751
1,8	1,08	0,25714286	0,40437377	2,38279529	2,57341891	9264,30808
1,9	1,14	0,25909091	0,40641349	2,39481447	2,73008849	9828,31856
2	1,2	0,26086957	0,40827139	2,40576221	2,88691465	10392,8928
2,1	1,26	0,2625	0,40997075	2,41577581	3,04387752	10957,9591
2,3	1,38	0,26538462	0,41296872	2,43344154	3,35814933	12089,3376
2,4	1,44	0,26666667	0,41429767	2,44127242	3,51543228	12655,5562
2,5	1,5	0,26785714	0,41552978	2,44853271	3,67279907	13222,0767
2,6	1,56	0,26896552	0,41667528	2,45528264	3,83024091	13788,8673
2,7	1,62	0,27	0,417743	2,4615742	3,98775021	14355,9008
2,8	1,68	0,27096774	0,41874059	2,46745259	4,14532036	14923,1533
2,9	1,74	0,271875	0,41967476	2,47295723	4,30294558	15490,6041
3	1,8	0,27272727	0,42055136	2,47812268	4,46062082	16058,235
3,1	1,86	0,27352941	0,42137557	2,48297937	4,61834162	16626,0298
3,2	1,92	0,27428571	0,42215194	2,48755418	4,77610402	17193,9745
3,3	1,98	0,275	0,42288453	2,49187098	4,93390454	17762,0563
3,4	2,04	0,27567568	0,42357693	2,495951	5,09174003	18330,2641
3,5	2,1	0,27631579	0,42423237	2,4998132	5,24960773	18898,5878
3,6	2,16	0,27692308	0,42485373	2,50347459	5,40750512	19467,0184
3,7	2,22	0,2775	0,4254436	2,50695044	5,56542997	20035,5479
3,8	2,28	0,27804878	0,42600431	2,51025449	5,72338024	20604,1689
3,9	2,34	0,27857143	0,42653799	2,51339919	5,8813541	21172,8748
4	2,4	0,27906977	0,42704653	2,51639579	6,03934989	21741,6596
4,1	2,46	0,27954545	0,42753167	2,51925452	6,19736611	22310,518
4,2	2,52	0,28	0,42799499	2,52198468	6,35540139	22879,445
4,3	2,58	0,28043478	0,42843794	2,52459475	6,51345446	23448,4361
4,4	2,64	0,28085106	0,42886182	2,5270925	6,67152419	24017,4871
4,5	2,7	0,28125	0,42926784	2,52948501	6,82960953	24586,5943
4,6	2,76	0,28163265	0,42965711	2,53177881	6,98770951	25155,7542
4,7	2,82	0,282	0,43003065	2,53397988	7,14582325	25724,9637
4,8	2,88	0,28235294	0,43038938	2,53609373	7,30394994	26294,2198
4,9	2,94	0,28269231	0,43073417	2,53812545	7,46208882	26863,5197
5	3	0,28301887	0,43106582	2,54007973	7,62023919	27432,8611

**Tabla 7. Cálculo 4 para el canal de entrada.**

c=0.7m						
h(m)	S	R <sub>h</sub>	(R <sub>h</sub> ) <sup>2/3</sup>	V	Q(m <sup>3</sup> /s)	Q(m <sup>3</sup> /h)
0,05	0,035	0,04375	0,12416105	0,73162599	0,02560691	92,1848754
0,1	0,07	0,07777778	0,18220922	1,07367814	0,07515747	270,566891
0,2	0,14	0,12727273	0,25302119	1,49094168	0,20873184	751,434608
0,3	0,21	0,16153846	0,29660875	1,74778383	0,3670346	1321,32458
0,4	0,28	0,18666667	0,32662131	1,92463452	0,53889767	1940,0316
0,5	0,35	0,20588235	0,34866853	2,05454901	0,71909215	2588,73175
0,6	0,42	0,22105263	0,36559237	2,15427371	0,90479496	3257,26186
0,7	0,49	0,23333333	0,37901046	2,23334052	1,09433686	3939,61268
0,8	0,56	0,24347826	0,38991816	2,29761478	1,28666428	4631,9914
0,9	0,63	0,252	0,39896399	2,35091783	1,48107823	5331,88164
1	0,7	0,25925926	0,40658952	2,39585174	1,67709622	6037,54639
1,1	0,77	0,26551724	0,4131063	2,43425222	1,87437421	6747,74715
1,2	0,84	0,27096774	0,41874059	2,46745259	2,07266018	7461,57665
1,3	0,91	0,27575758	0,42366082	2,49644532	2,27176524	8178,35486
1,4	0,98	0,28	0,42799499	2,52198468	2,47154498	8897,56194
1,5	1,05	0,28378378	0,43184217	2,54465439	2,67188711	9618,7936
1,6	1,12	0,28717949	0,43528023	2,56491336	2,87270296	10341,7307
1,7	1,19	0,2902439	0,43837126	2,5831274	3,0739216	11066,1178
1,8	1,26	0,29302326	0,44116535	2,59959174	3,2754856	11791,7482
1,9	1,33	0,29555556	0,44370339	2,61454733	3,47734794	12518,4526
2	1,4	0,29787234	0,44601909	2,62819272	3,67946981	13246,0913
2,1	1,47	0,3	0,44814047	2,64069307	3,88181881	13974,5477
2,3	1,61	0,30377358	0,45189063	2,66279108	4,28709364	15433,5371
2,4	1,68	0,30545455	0,45355615	2,67260525	4,48997682	16163,9166
2,5	1,75	0,30701754	0,45510205	2,68171457	4,6930005	16894,8018
2,6	1,82	0,30847458	0,45654079	2,69019239	4,89615016	17626,1406
2,7	1,89	0,30983607	0,45788313	2,69810224	5,09941323	18357,8876
2,8	1,96	0,31111111	0,45913847	2,70549937	5,30277877	19090,0036
2,9	2,03	0,31230769	0,46031499	2,71243211	5,50623718	19822,4539
3	2,1	0,31343284	0,46141991	2,71894288	5,70978005	20555,2082
3,1	2,17	0,31449275	0,46245956	2,72506909	5,91339993	21288,2398
3,2	2,24	0,31549296	0,46343957	2,73084386	6,11709024	22021,5249
3,3	2,31	0,31643836	0,46436493	2,73629659	6,32084512	22755,0424
3,4	2,38	0,31733333	0,46524009	2,74145351	6,52465935	23488,7737
3,5	2,45	0,31818182	0,46606902	2,74633806	6,72852825	24222,7017
3,6	2,52	0,31898734	0,46685531	2,75097128	6,93244762	24956,8114
3,7	2,59	0,31975309	0,46760215	2,75537208	7,13641368	25691,0892
3,8	2,66	0,32048193	0,46831244	2,75955753	7,34042303	26425,5229
3,9	2,73	0,32117647	0,46898881	2,76354307	7,54447257	27160,1013
4	2,8	0,32183908	0,46963363	2,76734269	7,74855952	27894,8143
4,1	2,87	0,32247191	0,47024905	2,7709691	7,95268132	28629,6527
4,2	2,94	0,32307692	0,47083705	2,77443389	8,15683565	29364,6083
4,3	3,01	0,32365591	0,47139941	2,77774764	8,3610204	30099,6734
4,4	3,08	0,32421053	0,47193778	2,78092001	8,56523363	30834,8411
4,5	3,15	0,32474227	0,47245365	2,78395986	8,76947356	31570,1048
4,6	3,22	0,32525253	0,47294843	2,78687533	8,97373856	32305,4588
4,7	3,29	0,32574257	0,47342336	2,7896739	9,17802712	33040,8976
4,8	3,36	0,32621359	0,47387962	2,79236246	9,38233788	33776,4164
4,9	3,43	0,32666667	0,4743183	2,79494739	9,58666953	34512,0103
5	3,5	0,3271028	0,47474039	2,79743455	9,79102091	35247,6753

**Tabla 8. Cálculo 5 para el canal de entrada.**

De todos los valores obtenidos, sólo se aceptará aquel que se acerque más al caudal máximo de diseño y que cumpla que “V” esté comprendida entre 1.4 y 0.4 (para que no se produzcan deposiciones). Dentro de estos condicionantes, se elegirá el canal que dé una mayor altura.

Atendiendo a los cálculos realizados, se llega a la conclusión de que la mejor opción de diseño es la de un canal de entrada con las siguientes características:

$$c = 0,3 \text{ m}$$

$$h = 0,1 \text{ m}$$

$$h \text{ resguardo} = 0,4$$

$$V = 0,9 \text{ m/s}$$

$$I = 0.50\%$$

## **5. CANAL DE DESBASTE.**

Mediante la unidad de desbaste se pretende eliminar sólidos gruesos que pudieran obstaculizar posibles unidades posteriores. Es la primera operación unitaria que tiene lugar en una E.D.A.R. Los elementos separadores empleados para retener los sólidos son rejas de desbaste.

La reja de desbaste se sitúa en un canal, que es el que se dimensionará a continuación. Se tomará como base el modelo que se propone en la bibliografía (Hernández Lehmann, 1996).



Para que la deposición de los sólidos en el canal sea mínima se recomiendan velocidades de aproximación ( $V_a$ ), a caudal medio, superiores a 0,6 m/s (Hernández Lehmann, 1997). Asimismo, la velocidad de paso ( $V_p$ ) a través de las barras, a caudal punta y limpieza en contra corriente, no deberá superar 1,2 m/s (Hernández Lehmann, 1997) para evitar, de este modo, el arrastre de basuras a través de las rejillas.

Antes de que el agua residual pase a través de la rejilla, su velocidad debe ser mayor de 0,6 m/s y menor de 1,2 m/s para que no decante. Luego a partir de los siguientes datos conocidos:

Los datos de partida son:  $h = 0,1 \text{ m}$

$$V = 0,9 \text{ m/s}$$

$$Q_{\text{med}} = 95,9 \text{ m}^3/\text{h} = 0,027 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{máx}} = 101,6 \text{ m}^3/\text{h} = 0,028 \text{ m}^3/\text{s}$$

Y sabiendo las definiciones de la velocidad media y máxima:

$$V_{\text{media}} = Q_{\text{medio}} / S$$

$$V_{\text{máx}} = Q_{\text{máx}} / S$$

Como:

$$S = c \cdot h = 0,3 \cdot 0,1 = 0,03 \text{ m}^2$$

Entonces:

$$V_{\text{media}} = 0,027 / 0,03 = 0,90 \text{ m/s} > 0,6 \text{ m/s}$$

$$V_{\text{máx}} = 0,028 / 0,03 = 0,94 \text{ m/s} < 1,2 \text{ m/s}$$

Por ello, ahora también se podría definir el valor de la altura útil, aplicando la expresión  $S = b \cdot h$ ; siendo “b” el ancho del canal de desbaste y “S” el área de la sección transversal del canal.

Se puede proyectar un canal de 0,5 m de ancho, ya que éste es un valor medio entre los valores recomendados por Hernández Lehmann, 1997 (ver apartado 4 de este anexo). De este modo y sabiendo que  $S = 0,03 \text{ m}^2$ , se tiene la siguiente:

$$S = b \cdot h$$

$$h = S / b = 0,03 / 0,5 = 0,06 \text{ m}$$

Por lo tanto, el canal tendrá un ancho de 50 cm y una altura útil de 0,06 m, que se incrementará en 0,07 m de resguardo.

### **5.1. Anchura del canal de la rejilla**

Se instala una reja de gruesos de limpieza automática, de 50 mm de paso y un espesor de barrotes de 10 mm; valores recomendados por la bibliografía (Hernández Lehmann, 1997)

La limpieza de la reja está automatizada, actuando el mecanismo de limpieza por boya de nivel y temporizado.

Cada uno de los canales tiene dos compuertas de canal, una al principio y otra al final del mismo para aislarlo y acometer tareas de mantenimiento y reparación.

La anchura del canal en la zona de la rejilla vendrá dada por la ecuación [85] (Hernández Lehamn, 1997):

$$W = [(J / s) - 1] \cdot (s + a) + s \quad [85]$$

Siendo:  $W$  = ancho del canal de rejillas (m)

$J$  = ancho del canal en la zona previa a las rejillas (m) = 0,5 m

$s$  = separación libre entre barrotes (m) = 0,015 m

$a$  = ancho de los barrotes (m) = 0,012 m

$$W = [(0,5 / 0,01) - 1] \cdot (0,015 + 0,012) + 0,015 = 0,9 \text{ m}$$

El ancho de la arqueta será de 0,9 m. Pero adoptando un margen de seguridad, se estimará 1 m como ancho del canal de rejillas.

El número de barrotes viene determinado por la ecuación [86] (Hernández Muñoz, 1996):

$$N = (W - s) / (s+a) \quad [86]$$

$$N = (900 - 15) / (15+12) = 33 \text{ barrotes}$$

## 5.2. Pérdida de carga.

La pérdida de carga vendrá dada por la ecuación [87] (Hernández Lehmann, 1997):

$$\Delta h = [K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot V^2] / (2 \cdot g) \quad [87]$$

siendo  $\Delta h$  = pérdida de carga (m)

$V$  = velocidad en paso en el canal (m / s)

$g$  = aceleración de la gravedad (m / s<sup>2</sup>)

$K_1$  depende del porcentaje de sección de paso que subsiste al atascamiento máximo tolerado, que depende del sistema de limpieza empleado. Según la bibliografía (Hernández Lehmann, 1997), se define según la ecuación [88]:

$$K_1 = (100 / Cte)^2 \quad [88]$$

La constante toma un valor comprendido entre 60% y 90%. Se tomará un valor de 75%, siendo un valor adecuado para el tipo de reja y las dimensiones de los sólidos retenidos según la bibliografía (Hernández Lehmann, 1997). De esta forma:

$$K_1 = (100 / 75)^2 = 1,78$$

$K_2$  depende de la sección horizontal de los barrotes, que para barrotes planos con borde redondeados toma el valor de 0,76 (Aurelio Hernández, 1997):

$$K_2 = 0,76$$

$K_3$  (sección de paso entre barrotes), se puede estimar a partir de la tabla 9 (Hernández Lehmann, 1997). Para ello se necesita estimar:

$s$  = Separación libre entre barrotes.

$a$  = Anchura de barrotes.

$z$  = Espesor de los barrotes.

$h$  = Altura sumergida de los barrotes, vertical u oblicua.

	$\left(\frac{s}{s+a}\right)$									
$\frac{z}{4} \left(\frac{2}{s} + \frac{1}{h}\right)$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
0	245	51,5	18,2	8,25	4,0	2,0	0,97	0,42	0,13	0
0,2	230	48	17,4	7,70	3,75	1,87	0,91	0,40	0,13	0,01
0,4	221	46	16,6	7,40	3,60	1,80	0,88	0,39	0,13	0,01
0,6	199	42	15	6,60	3,20	1,60	0,80	0,36	0,13	0,01
0,8	164	34	12,2	5,50	2,70	1,34	0,66	0,31	0,12	0,02
1	149	31	11,1	5,00	2,40	1,20	0,61	0,29	0,11	0,02
1,4	137	28,4	10,3	4,60	2,25	1,15	0,58	0,28	0,11	0,03
2	134	27,4	9,90	4,40	2,20	1,13	0,58	0,28	0,12	0,04
3	132	27,5	10,0	4,50	2,24	1,17	0,61	0,31	0,15	0,05

**Tabla 9. Valores del coeficiente  $K_3$ .**

$K_3$  se calcula a partir de las ecuaciones [89 a] y [89 b]:

$$(z / 4) \cdot [(2 / s) + (1 / h)] \quad [89 a]$$

$$s / (s + a) \quad [89b]$$

siendo:  $s = 15 \text{ mm}$

$$z = 5 a = 60 \text{ mm}$$

$$a = 12 \text{ mm}$$

$$h = 100 \text{ mm}$$

por lo tanto,  $z / 4 [(2 / s) + (1 / h)] = 2,15$

$$s / (s + a) = 0,55$$

A partir de estos datos y haciendo uso de la tabla 9, se obtiene, por interpolación, para  $K_3$  el valor de:

$$K_3 = 1,67$$

Por lo tanto, la pérdida de carga en la situación de máximo atascamiento permitido será:

$$\Delta h = 1,78 \cdot 0,76 \cdot 1,67 \cdot 0,9^2 / (2 \cdot 9,8) = 0,10 \text{ m} = \mathbf{10 \text{ cm}}$$

La pérdida de carga variará, por tanto, entre 0 y 10 cm. Esto hace que, situando un medidor de nivel antes y después de la rejilla, cuando el desnivel llegue a 10 cm entrará en funcionamiento el mecanismo limpiador de la rejilla.

De acuerdo con la Figura 1, se observa que la opción seleccionada ( $V = 0.9 \text{ m/s}$  y  $\Delta h = 10 \text{ cm}$ ) es válida, ya que se encuentra dentro de la zona sombreada.

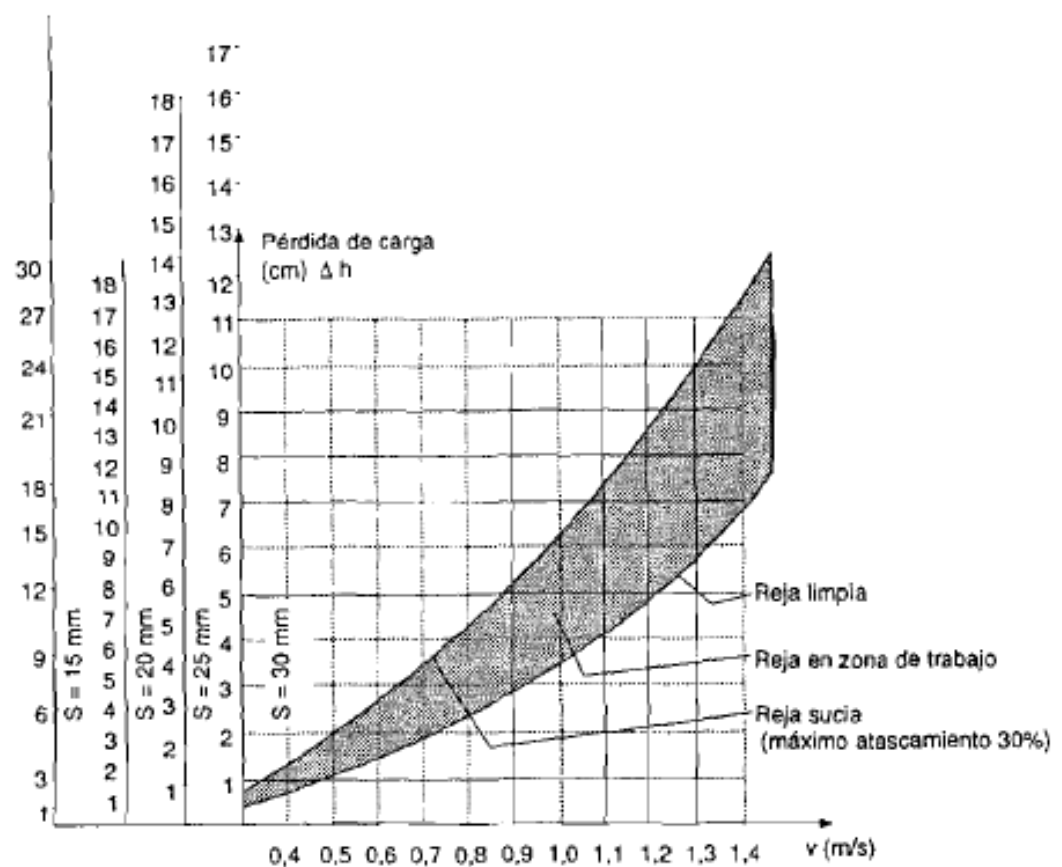


Figura 1. Pérdida de carga.

### **5.3 Material retenido.**

El volumen de materias sólidas retenidas en la reja de desbaste se puede estimar para una separación libre entre barrotes (s) que se encuentre dentro de los siguientes límites:  $3\text{mm} \leq s \leq 20\text{ mm}$  y 15 - 25 l / hab-año, según la bibliografía (Hernández Lehmann, 1997). Por lo tanto, para un valor de 20 l / hab-año, la cantidad de material retenido será:

$$\text{Mat. Retenido} = 20 \text{ l / hab-año} \cdot 11507 \text{ hab} \cdot 1 \text{ año} / 365 \text{ días}$$

$$\text{Mat. Retenido} = 630,53 \text{ l / día}$$

### **6. DESARENADOR- DESENGRASADOR.**

La función del desarenador- desengrasador es eliminar elementos pesados que lleva el agua residual tras pasar por las rejillas de desbaste y que pueden perjudicar tratamientos posteriores. En este proyecto se escogerá un desarenador aireado.

La retirada de estos sólidos se realiza disminuyendo la velocidad del agua residual, consiguiendo la sedimentación de las partículas de arena e impidiendo sedimentación de materia orgánica, ya que supondría generación de olores. Los desarenadores aireados se suelen proyectar para eliminar partículas de diámetro mínimo comprendido 1 cm y 0,2 mm y un tiempo de retención entre 2 y 5 minutos en condiciones de caudal punta (Hernández Lehmann, 1997). Las partículas de arena perjudican el tratamiento posterior, generando sobrecargas en fangos, depósitos en las conducciones hidráulicas, tuberías y canales, abrasión en rodetes de bomba y equipos, y disminuyen la capacidad hidráulica. Se considerará como valor óptimo para el diseño que se está llevando a cabo, un diámetro de partícula de 0,10 mm.



Como se ha expuesto anteriormente, se ha escogido un desarenador - desengrasador aireado, en el que se disminuye la velocidad del agua para producir el depósito de las arenas y gracias a la aireación se produce una separación de las grasas de la arena. El aire que se inyecta provoca una rotación del líquido (trayectoria helicoidal) y crea una velocidad constante de barrido de fondo, perpendicular a la velocidad de paso, mucho menor, que puede entonces variar sin que se provoque ningún inconveniente. El aire inyectado además de su papel motor, favorece, por su efecto de agitación, la separación de las materias orgánicas que pueden quedar adheridas a las partículas de arena.

Se procederá al cálculo de las velocidades haciendo uso de los datos proporcionados por la bibliografía (Hernández Lehmann, 1997) y reflejados en la tabla 10:

d mm	0,05	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	1	2	3	5	10
$V_s$ cm/s	0,2	0,7	2,3	4,0	5,6	7,2	15	27	35	47	74
$V_s'$ cm/s	0	0,5	1,7	3,0	4,0	5,0	11	21	26	33	
$V_H$ cm/s	15	20	27	32	38	42	60	83	100	130	190

**Tabla 10. Datos de sedimentación de partículas.**

donde:

$d$  = diámetro de la partícula de arena.

$V_s$  = Velocidad de sedimentación, para un fluido de velocidad horizontal nula.

$V_s'$  = Velocidad de sedimentación, para un fluido de velocidad horizontal  $V_H$ .

$V_H$  = Velocidad horizontal crítica de arrastre de la partícula depositada.

Se deben tener en cuenta los datos de diseño de los que se partirá:

Población = 11507 hab

$Q_{\text{med}} = 101,6 \text{ m}^3 / \text{h}$

$Q_{\text{máx}} = 95,9 \text{ m}^3 / \text{h}$

Diámetro partícula arena = 0,10 mm

### **6.1. Velocidad horizontal crítica.**

La velocidad horizontal crítica se define como el valor crítico de velocidad de arrastre máximo, por encima del cual las partículas sedimentadas pueden volver a estar en suspensión y, en consecuencia, son arrastradas por el efluente.

A partir de los datos de la tabla 10 se obtiene un valor de “ $V_H$ ” de 20 cm/s

### **6.2. Velocidad de sedimentación.**

La velocidad horizontal crítica dista mucho de la real, debido a que existen problemas de turbulencia, por lo que el proyecto de estos tanques se debe basar en la selección de una partícula con velocidad final igual a la velocidad de sedimentación; la cual viene dada por la experiencia, e intentar que queden eliminadas todas aquellas partículas cuya velocidad final sea igual o superior a la velocidad de sedimentación.

A partir de los datos de la tabla 10 se obtiene un valor de “ $V'_s$ ” de 0,5 cm/s.

### **6.3. Parámetros de dimensionamiento del desarenador.**

#### **6.3.1. Velocidad de sedimentación.**

El primer parámetro que se debe definir es la velocidad de sedimentación. Como se ha dicho en el apartado 6.2, la velocidad de sedimentación viene dada por el tamaño de las partículas. En este caso se ha elegido un diámetro de 0,10 mm, por lo que la velocidad de sedimentación será 0,5 cm / s.

#### **6.3.2. Relaciones adimensionales.**

Se tomarán las siguientes relaciones de proporcionalidad atendiendo a motivos de explotación, condiciones de pared y formación de líneas de corriente (Ramalho, 1996):

- a) Profundidad (m): 2 - 5
- b) Anchura (m): 2 -7
- c) Longitud (m): 5 - 20
- d) Relación anchura – profundidad: 1:1 – 5:1
- e) Relación longitud – anchura: 3:1 – 5:1

f) THR (punta): 2-5 min

#### METODOLOGÍA DE CÁLCULO.

Las ecuaciones que se van a utilizar para el cálculo de las dimensiones del desarenador son las que definen al caudal como el producto de la velocidad por la sección:

$$\text{Para el caudal punta: } Q_p = A \cdot V_s'$$

$$A = Q_p / V_s'$$

$$V_s' = 0,5 \text{ cm} / \text{s} = 0,005 \text{ m} / \text{s}$$

$$Q_p = 101,6 \text{ m}^3 / \text{h} = 0,028 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$A = 0,028 / 0,005 = 5,6 \text{ m}^2$$

Según lo dicho anteriormente, la relación longitud- anchura debe estar comprendida entre 3:1 y 5:1. Por ello, si  $L / a = x$ ,  $x$  debe estar comprendida entre 3 y 5.

$$A = L \cdot a$$

$$L / a = x$$

Por lo tanto,

$$L \cdot a = 5,6 \text{ m}^2$$

$$L / a = x \quad (3 - 5)$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones se llega a lo siguiente:

$$a^2 \cdot x = 5,6$$

$$a = [5,6 / x]^{1/2}$$

Para resolver esto hay que hacer uso de una hoja de cálculo donde:

- a) Se calcula "L" en función de los valores de "a" para cada valor de "x" (3-5).
- b) Con la relación  $a / h$  (c (1 - 5)), se dan valores a "c" para cada valor de "a". Así se obtiene h.
- c) Se calcula el Volumen =  $L \cdot a \cdot h$ .
- d) Se calcula el tiempo hidráulico de residencia "THR" :

$$\text{THR} = \text{Vol} / Q = (L \cdot a \cdot h) / 0,005$$

- e)  $\text{THR} = (2-5 \text{ min})$ , por lo que se transforma THR a minutos.
- f) Se hace lo mismo para cada valor de "a".
- g) El valor de "THR" tiene que estar dentro del intervalo 2-5 minutos y además deben cumplirse las siguientes relaciones (Ver figura 2):

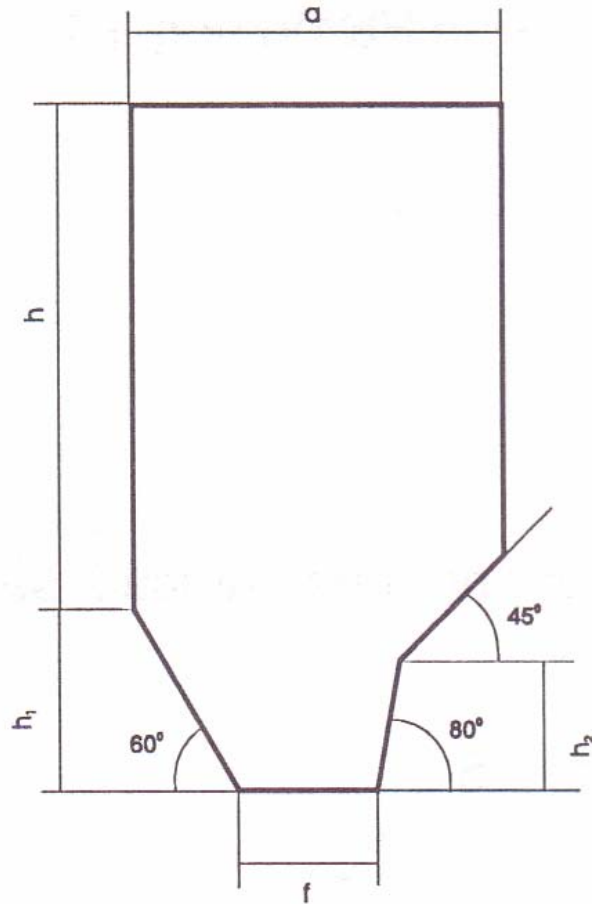
$$h / a = 1-5$$

$$h_1 = 0,3 - 0,8$$

$$L / a = 3 - 5$$

$$h_2 = 0,75 h_1$$

$$f = 0,3-0,5$$



**Figura 2. Desarenador.**

Si se cumple que THR se encuentra dentro del intervalo (2-5), las partículas sedimentarán.

Las hojas de cálculo realizadas se expondrán en las tablas 11 y 12:

<b>x</b>	<b>A</b>	<b>L</b>
3	1,37	4,10
3,5	1,26	4,43
4	1,18	4,73
4,5	1,12	5,02
5	1,06	5,29

**Tabla 11. Cálculos de dimensionamiento del desarenador (paso a)**

<b>c</b>	<b>a</b>	<b>h</b>	<b>V</b>	<b>TRH (s)</b>	<b>THR (min)</b>
1	1,37	1,37	7,69	153,86	2,56
2	1,37	0,69	3,85	76,93	1,28
3	1,37	0,46	2,56	51,29	0,85
4	1,37	0,34	1,92	38,47	0,64
5	1,37	0,27	1,54	30,77	0,51
<b>c</b>	<b>a</b>	<b>h</b>	<b>V</b>	<b>TRH (s)</b>	<b>THR (min)</b>
1	1,26	1,26	7,03	140,57	2,34
2	1,26	0,63	3,51	70,29	1,17
3	1,26	0,42	2,34	46,86	0,78
4	1,26	0,32	1,76	35,14	0,59
5	1,26	0,25	1,41	28,11	0,47
<b>c</b>	<b>a</b>	<b>h</b>	<b>V</b>	<b>TRH (s)</b>	<b>THR (min)</b>
1	1,18	1,18	6,59	131,80	2,20
2	1,18	0,59	3,30	65,90	1,10
3	1,18	0,39	2,20	43,93	0,73
4	1,18	0,30	1,65	32,95	0,55
5	1,18	0,24	1,32	26,36	0,44
<b>c</b>	<b>a</b>	<b>h</b>	<b>V</b>	<b>TRH (s)</b>	<b>THR (min)</b>
1	1,12	1,12	6,30	125,94	2,10
2	1,12	0,56	3,15	62,97	1,05
3	1,12	0,37	2,10	41,98	0,70
4	1,12	0,28	1,57	31,49	0,52
5	1,12	0,22	1,26	25,19	0,42
<b>c</b>	<b>a</b>	<b>h</b>	<b>V</b>	<b>TRH (s)</b>	<b>THR (min)</b>
1	1,06	1,06	5,95	118,91	1,98
2	1,06	0,53	2,97	59,46	0,99
3	1,06	0,35	1,98	39,64	0,66
4	1,06	0,27	1,49	29,73	0,50
5	1,06	0,21	1,19	23,78	0,40

**Tabla 12. Cálculos para el dimensionamiento del desarenador.**

Una vez realizados los cálculos en la hoja de cálculo, se seleccionan los siguientes valores, ya que se cumple que el tiempo hidráulico de residencia



tiene un valor comprendido entre 2 y 5 minutos, siendo el valor de “h” el mayor de todas las iteraciones.:

c (m)	a (m)	h (m)	V (m/s)	TRH (s)	THR (min)
1	1,37	1,37	7,69	153,86	2,56

**Tabla 13. Valores aceptados para el cálculo del desarenador.**

Teniendo en cuenta las relaciones expuestas en el apartado “metodología de cálculo”, recopilando, el resto de los parámetros toman los siguientes valores:

$$h_1 = 0,4 \text{ m}$$

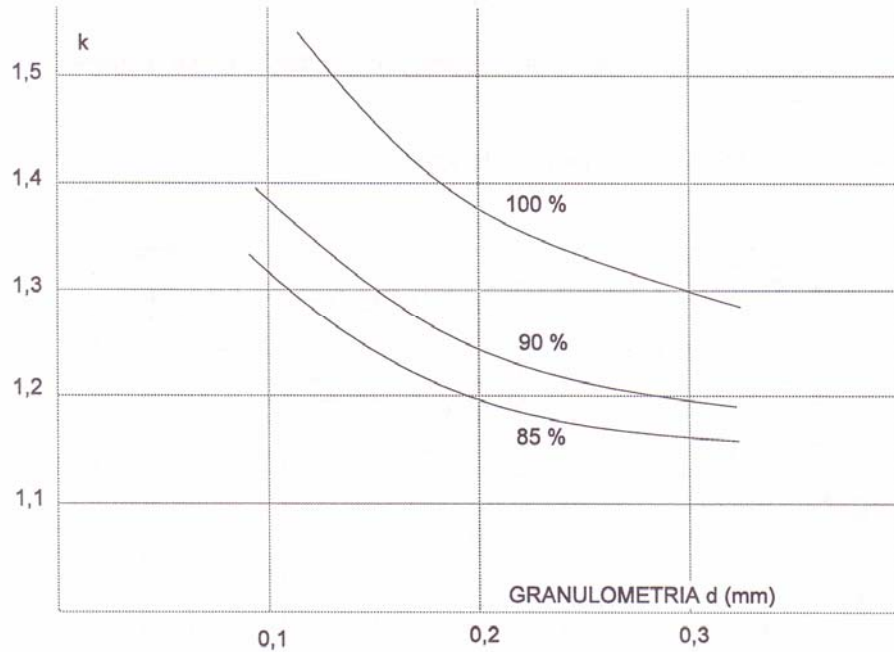
$$h_2 = 0,4 \cdot 0,75 = 0,3 \text{ m}$$

$$f = 0,3 \text{ m}$$

$$S = 5,6 \text{ m}^2$$

$$L = 5,6 / a = 5,6 / 1,37 = 4,08 \text{ m}$$

Para conocer el valor de la longitud efectiva, se necesita multiplicar la longitud teórica “L” por la constante de Kalbskopf. Esta constante “K” se obtiene a partir de la gráfica 3 (Hernández Lehmann, 1997), que se muestra a continuación:



**Figura 3. Valores de K.**

Atendiendo a la figura 3, estimando un % de sedimentación del 85 % y para una granulometría de 0,1 mm, se obtiene  $K = 1,32$ . Por lo que:

$$L_e = L \cdot K = 4,08 \cdot 1,32 = 5,38 \text{ m}$$

### 6.3.3 Sección transversal

Atendiendo a la figura 2, se fijará una sección transversal mínima útil ( $S_{tm}$ ). Para poder calcular este parámetro se hará uso de la relación adimensional de anchura- profundidad, que se expuso en el apartado 6.3.2 de este anexo. En concreto, se tiene que  $1 \leq h / a \leq 5$ . Por ello, conociendo la altura útil del desarenador ( $h = 1,37 \text{ m}$ ), se puede determinar que  $a = 1,37$ , si se considera que  $h / a = 1$ .

Por todo ello,  $S_{tm} = h \cdot a = 1,37 \cdot 1,37 = 1,88 \text{ m}^2$ .

Por otro lado, el tiempo de retención válido debe estar comprendido entre 2,5 y 5 minutos (Hernández Lehmann, 1997), por lo que si se estima un tiempo de retención de 3,5 min, se tendrá:

$$t = 3,5 \text{ min} = 210 \text{ s}$$

Para obtener el valor del rendimiento de este proceso se hará uso de la figura 4 (Hernández Lehmann, 1997)

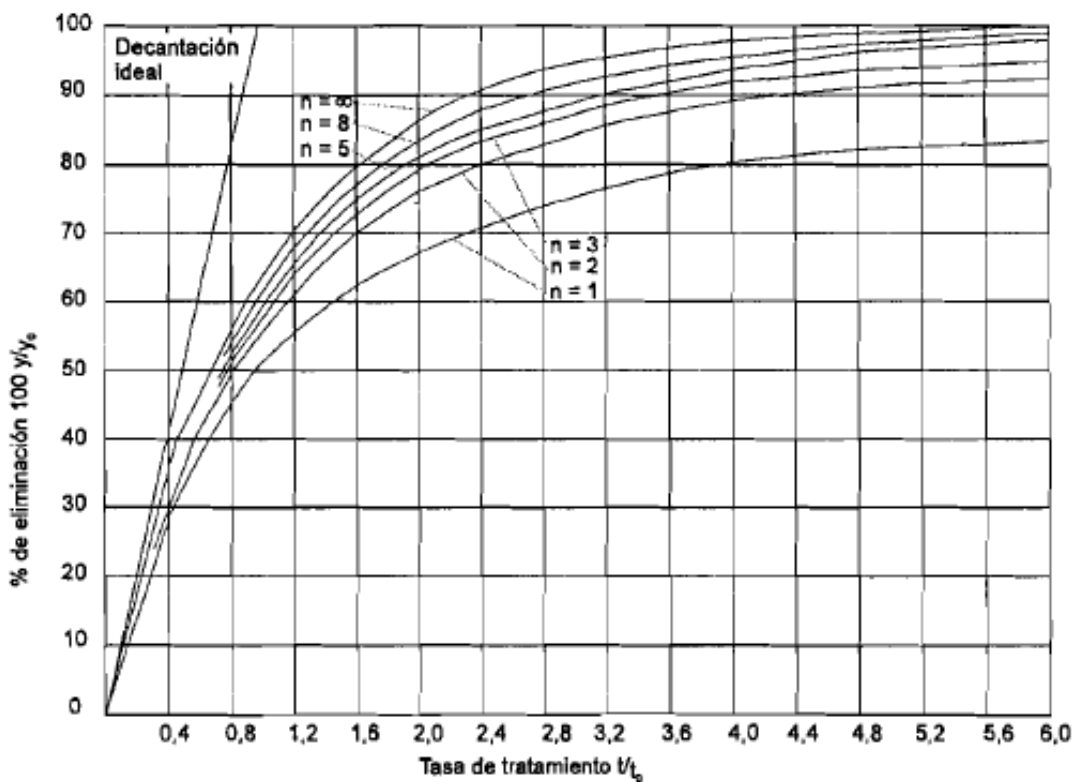


Figura 4. Gráfica de Hazen.

Donde:

$t$  = Tiempo necesario para atravesar el tanque del desarenador por una partícula dada con una probabilidad de sedimentar  $y / y_0$ , este valor realmente está indicando el tiempo de retención de una partícula en el desarenador, osea:

$$t = \text{Volumen del tanque} / \text{Caudal.}$$

$t_0$  = Tiempo de sedimentación de las partículas en aguas de reposo, que coincide con  $h / V_s$ , es decir, indica el tiempo preciso para una determinada partícula con velocidad de sedimentación  $V_s$  para sedimentar desde una altura  $h$  del tanque.

$$t / t_0 = \text{tasa de crecimiento}$$

$$y_0 = \text{Cantidad de partículas de velocidad } V_s \text{ sedimentadas.}$$

$$y / y_0 = \text{Proporción de partículas sedimentadas (\%)}$$

El valor de "n" a considerar está comprendido entre 1 y 8. Este valor dependerá de:

- Ángulo de divergencia del canal de llegada.
- Cuidado de los deflectores para el canal de entrada.
- Influencia de las turbulencias generadas por viento o temperatura en el tanque.

En el caso que ocupa a este proyecto, se tomarán los siguientes valores, recomendados por la bibliografía (Hernández Lehmann, 1997)

- Porcentaje de sedimentación: 85 %.
- Buen rendimiento:  $n = 3$

Aplicando estos valores y haciendo uso de la figura 4, se podrá calcular “ $t / t_0$ ”. El valor que se obtiene es  $t / t_0 = 2,5$ .

Por todo ello, operando, se podrá obtener el valor de  $t_0$ :

$$t_0 = t / 2,5$$

$$t_0 = 210 / 2,5 = 84 \text{ s}$$

#### 6.3.4 Necesidades de aireación.

Se necesitará una inyección de aire para evitar la sedimentación de la materia orgánica y desmenujar las grasas. Los datos necesarios para realizar este cálculo se pueden obtener a partir de la tabla 11 (Hernández Lehmann, 1997), que se muestra a continuación:

$S(m^2)$	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$C_{(a)}$ ( $m^3/h/m$ )	4,5-10,5	6-11,5	7,5-13	9-14	10-15	12-17	13-18	15-19	16-20	18-21	19-22	21-23	22-25

**Tabla 11. Caudales de aire en un desarenador – desengrasador.**

Donde “ $S$ ” es la superficie transversal ( $1,88 \text{ m}^2$ ) del desarenador, mientras que  $C_{(a)}$  son los  $\text{m}^3$  por hora de aire por metro de longitud del desarenador.

Interpolando se obtiene que, para un valor de  $S = 1,88 \text{ m}^2$ ,  $C = 5,9 \text{ Nm}^3/\text{h}/\text{m}$ . Por lo tanto, el volumen total de aireación será:

$$\text{Volumen total de aireación} = L \cdot C;$$

siendo L la longitud efectiva calculada anteriormente (5,38 m)

$$\text{Volumen total de aireación} = 5,38 \cdot 5,9 = 31,74 \text{ Nm}^3 \text{ de aire / h}$$

Se colocará un soplante capaz de suministrar un caudal de  $31,74 \text{ Nm}^3/\text{h}$  de aire a través de difusores de placas cerámicos situados, por estimación sacada de la bibliografía (Hernández Lehmann, 1996), 0,40 m por encima de la base del desarenador. La tubería de aire tendrá un diámetro nominal de 50 mm y será de acero inoxidable.

Para calcular la potencia del soplante se tomará la temperatura máxima registrada en Medina ( $45,1^\circ$ ), por ser ésta la condición más desfavorable, y una presión de 1 atm. Por lo tanto, suponiendo comportamiento de gas ideal, para dichas condiciones se obtiene un caudal:

$$P \cdot (Q / T) = P' \cdot (Q' / T')$$

$$1 \cdot (31,74 / 273) = 1 \cdot (Q' / 318,1)$$

$$0,12 = Q' / 318,1$$

$$Q' = 36,98 \text{ m}^3/\text{h}$$

Dado que los difusores de discos aportan un caudal medio de  $5,04 \text{ m}^3/\text{h}$  cada difusor,

Difusores =  $36,98 / 5,04 = 7,3$  serán necesarios 8 difusores.

Pero faltaría aún calcular la potencia del soplante. Para ello se hace uso de la bibliografía (Metcalf & Eddy, 1995)

$$P_{\text{soplante}} (K_w) = (W \cdot R \cdot T / 29,7 \cdot n \cdot e) [(P_2 / P_1)^{0,283} - 1] \quad [90]$$

donde  $W$  = Caudal másico de aire (Kg/s)

$R$  = Cte universal de los gases (8,314 KJ / mol K)

$P_1$  = Presión absoluta en la entrada (atm)

$P_2$  = Presión absoluta en la salida (atm)

$n$  = Cte = 0,283 para el aire

$e$  = Eficiencia (0,70 - 0,90)

Por lo tanto, se necesitará conocer  $W$  y  $P_2$ .

#### a) Cálculo de $W$

A partir de la ecuación de los gases ideales, se llega a la ecuación:

$$P \cdot P_m \cdot Q_v = W \cdot R \cdot T \quad [91]$$

donde  $P_m$  = Peso molecular del aire.

Por lo tanto  $W$  se calculará de la siguiente forma:

$$W = (P \cdot P_m \cdot Q_v) / (R \cdot T) \quad [92]$$

$$W = (1 \cdot 28,84 \cdot 36980) / (0,082 \cdot 318,1)$$

$$W = 40886,94 \text{ g / h}$$

$$W = 40886,94 \text{ g / h} \cdot 1 \text{ Kg} / 10^3 \text{ g} \cdot 1 \text{ h} / 3600 \text{ s}$$

$$W = 0,01136 \text{ Kg / s}$$

### **b) Cálculo de P<sub>2</sub>.**

La presión a la salida del soplante será la suma de las pérdidas de carga debida a los difusores, las debidas a la profundidad del agua por encima de los difusores y las pérdidas de carga en la conducción.

*b1) Pérdidas de carga debidas a la profundidad del agua por encima de los difusores.*

$$P = \rho \cdot g \cdot h \quad [93]$$

donde  $\rho$  = Densidad del aire en (Kg / m<sup>3</sup>)

$g$  = Aceleración de la gravedad (9,8 m / s<sup>2</sup>)

$h$  = Altura efectiva por encima de los difusores (m)

La densidad del aire se obtiene a partir de la ecuación de los Gases Ideales desarrollada:



$$\rho = (P \cdot P_m) / (R \cdot T) \quad [94]$$

$$\rho = (1 \cdot 28,84) / (0,082 \cdot 318,1)$$

$$\rho = 1,106 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

Si los difusores se sitúan a 0,4 m por encima de la base del desarenador, la altura útil será:

$$h = 1,37 - 0,4 = 0,97 \text{ m}$$

Por todo ello, las pérdidas de carga serán:

$$P = \rho \cdot g \cdot h$$

$$P = 1,106 \text{ Kg} / \text{m}^3 \cdot 9,8 \text{ m} / \text{s}^2 \cdot 0,97 \text{ m}$$

$$P = 10,5 \text{ Kg} / (\text{m} \cdot \text{s}^2) = 10,52 \text{ Pa}$$

$$P = 10,52 \text{ Pa} \cdot 1 \text{ atm} / 101325 \text{ Pa} = 1,04 \cdot 10^{-4} \text{ atm.}$$

*b2) Pérdidas de carga debidas a las conducciones.*

La pérdida de carga en las conducciones vendrá dada por:

$$h_L = f [(L + Le) / D] h_i \quad [95]$$

donde  $h_L$  = Pérdida de carga en las conducciones (m.c.a.)

$f$  = Factor de fricción adimensional.

L = Longitud de la tubería (m). Se toma el valor de 30 m.

$L_e$  = Longitud equivalente (m)

D = Diámetro de la tubería (m)

$h_i$  = Energía de velocidad del aire (m.c.a.)

Para calcular el valor de " $h_L$ ", lo primero será calcular el factor de fricción adimensional " $f$ ". Pero para el cálculo del valor de " $f$ " será necesario calcular previamente el Número de Reynolds. De esta forma se hallará " $f$ " haciendo uso de la gráfica de Moody (Figura 6). El valor del número de Reynolds se calculará haciendo utilizando la ecuación [96] (Metcalf & Eddy, 1995).

$$Re = (25,47 \cdot q_s) / (D \cdot \mu) \quad [96]$$

donde  $q_s$  = Caudal de aire en la tubería ( $m^3 / min$ )

D = Diámetro de la tubería (m)

$\mu$  = Viscosidad del aire (centipoises)

Se sabe que, para temperaturas comprendidas entre  $-15\text{ }^\circ\text{C}$  y  $90\text{ }^\circ\text{C}$ , la viscosidad puede estimarse mediante la ecuación [97] (Metcalf & Eddy, 1995):

$$\mu = (170 + 0,54 T) \cdot 10^{-4} \quad [97]$$

Y como  $T = 45,1\text{ }^\circ\text{C}$

$$\mu = (170 + (0,54 \cdot 45,1)) \cdot 10^{-4}$$

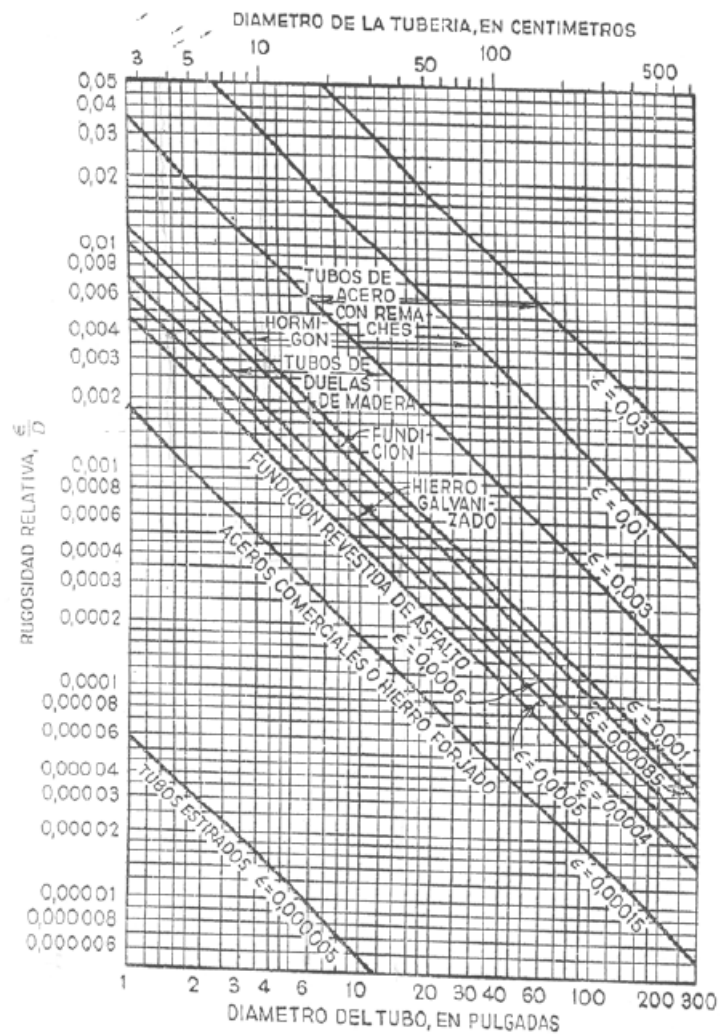
$$\mu = 0,019 \text{ cp}$$

Por otra parte  $Q' = 34,35 \text{ m}^3/\text{h} = q_s = 0,57 \text{ m}^3/\text{min}$

Por lo tanto, el valor del número de Reynolds será:

$$Re = (25,47 \cdot 0,57) / (0,06 \cdot 0,019) = 12735$$

Para un valor de  $D = 60 \text{ mm}$  se obtiene, a partir de la figura 5, una rugosidad relativa  $(\epsilon / D)$  de 0,0007.



**Figura 5. Diámetro de tubería – Rugosidad relativa**

Con el valor de "Re" y el de " $\epsilon / D$ " se obtendrá el valor de "f", haciendo uso de la gráfica de Moody (Figura 6):

$$f = 0,018$$

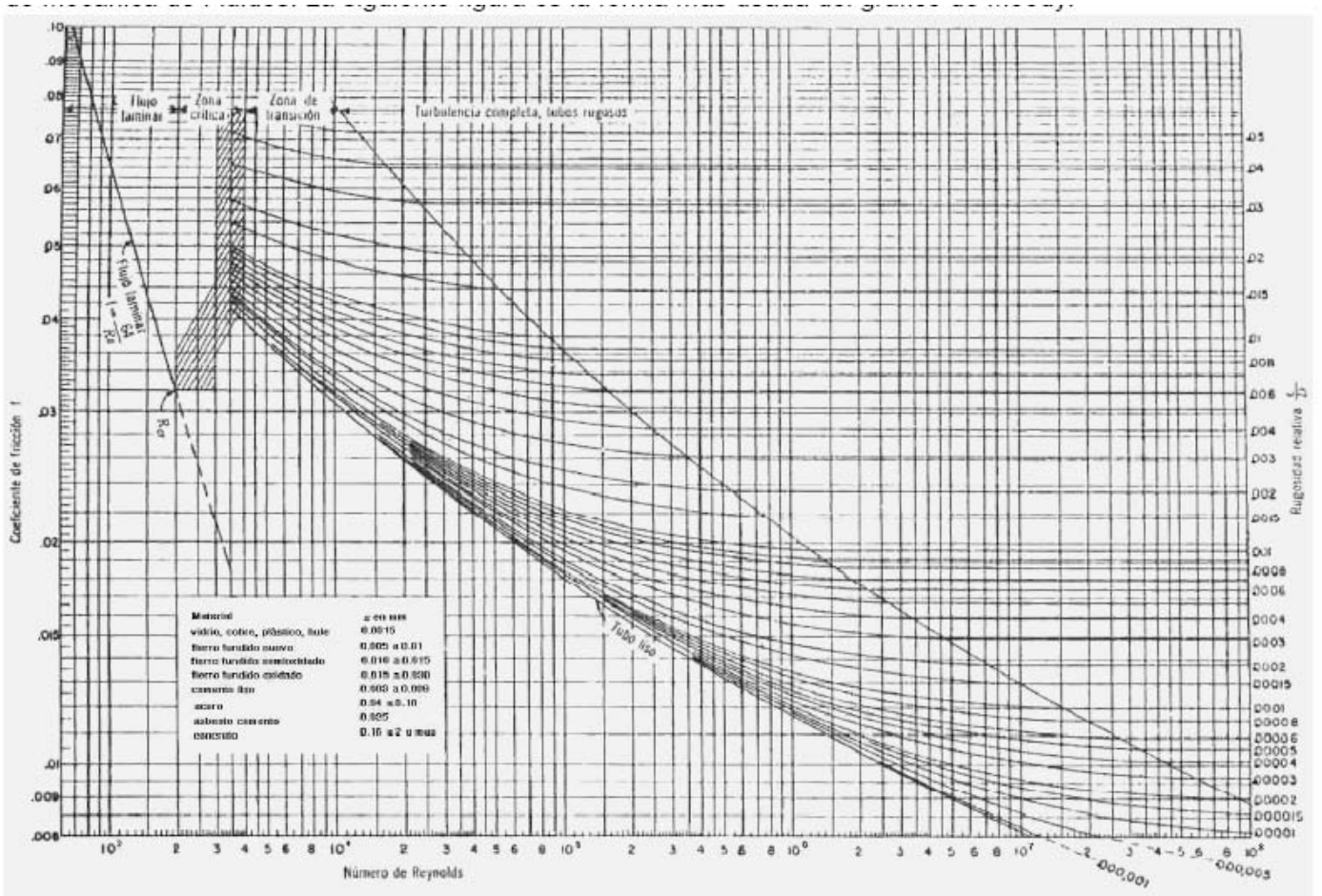


Figura 6. Gráfica de Moody.

Seguidamente se procederá al cálculo de  $h_i$  a  $21^\circ \text{C}$  y  $1 \text{ Kg} / \text{cm}^2$

$$h_i = (\nu / 140)^2 \gamma_a \quad (\text{Ramalho, 1996}) \quad [98]$$

donde  $\nu$  = Velocidad del aire (m / s)

$\gamma_a$  = Peso específico del aire.

$$\gamma_a = P / (R \cdot T) \quad (\text{Metcalf \& Eddy, 1995}) \quad [99]$$

siendo  $P = \text{Presión} = 1 \text{ atm}$

$R = \text{Cte de los gases ideales} = 0,082 \text{ atm} \cdot \text{L} / \text{mol} \cdot \text{K}$

$T = \text{Temperatura} = 45,1 \text{ }^\circ\text{C} = 318,1 \text{ K}$

$$\gamma_a = 1 / (0,082 \cdot 318,1) = 0,0383 \text{ mol} / \text{L}$$

$$\gamma_a = 0,0383 \text{ mol} / \text{L} \cdot 28,84 \text{ g} / 1 \text{ mol} \cdot 1 \text{ Kg} / 10^3 \text{g} \cdot 10^3 \text{L} / 1 \text{m}^3$$

$$\gamma_a = 1,1 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

Por otro lado, la velocidad del aire ( $v$ ) se obtiene como el cociente del caudal y la sección de la tubería [100]

$$v = Q / S = 36,98 / (\pi \cdot 0,030^2) = 13078,99 \text{ m} / \text{h} \quad [100]$$

Si se quiere tener el valor de “ $v$ ” en  $\text{m} / \text{s}$ , simplemente dividiendo entre 3600 se tendrá:

$$v = 13078,99 \text{ m} / \text{h} \cdot 1 \text{ h} / 3600 \text{ s} = 3,6 \text{ m} / \text{s}$$

Por lo tanto, el cálculo de  $h_i$  será:

$$h_i = (3,6 / 140)^2 \cdot 1,1 = 0,0073 \text{ m.c.a.}$$

$$h_i = 0,0073 \text{ m.c.a.} \cdot 1 \text{ atm} / 10,33 \text{ m.c.a.}$$

$$h_i = 7,07 \cdot 10^{-4} \text{ atm}$$

Los accesorios de este tramo de tubería son 4 codos de 90° y 6 válvulas de compuerta, para cada difusor. Trasladando los datos que se conocen (diámetro de la tubería y el accidente en cuestión) a la tabla que se muestra a continuación (figura 6) (Vián A, 1967), la prolongación de la recta que une ambos datos en la figura 6, determinará la longitud equivalente de los distintos accesorios, de acuerdo a la escala establecida a la derecha de imagen.

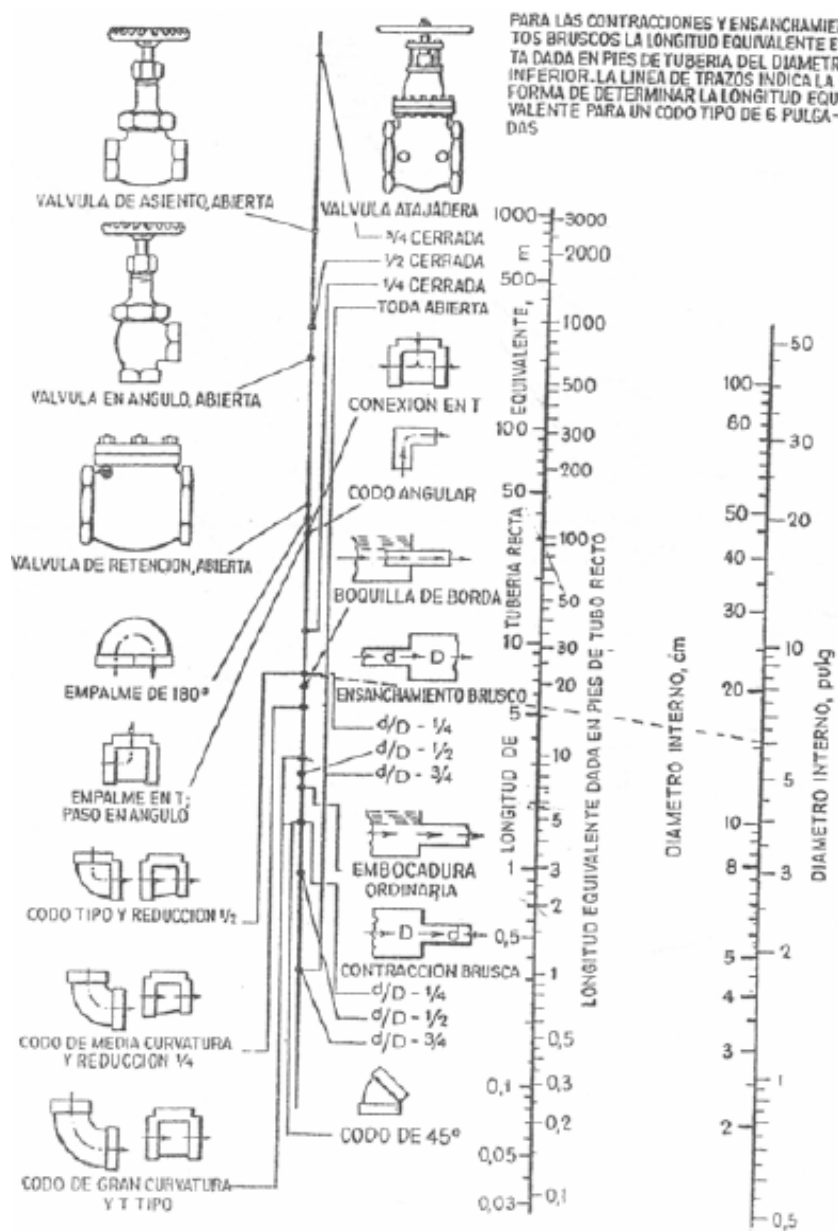


Figura 7. Longitudes equivalentes de accidentes

Por lo tanto, para un diámetro de tubería de 60 mm = 2,376 pulgadas, se tienen los siguientes valores de longitud equivalente:

$$L_e [\text{codo } 90^\circ] = 0,8 \text{ m}$$

$$L_e [\text{válvula compuerta}] = 18 \text{ m}$$

Por todo ello, las pérdidas de carga en las conducciones vendrán dadas por la ecuación [101]:

$$h_L = f [(L + L_e) / D] h_i \quad [101]$$

$$h_L = 0,018 \cdot [((30 + (4 \cdot 0.8) + (6 \cdot 18)) / 0,06)] \cdot 0,0073$$

$$h_L = 0,31 \text{ m.c.a.}$$

$$h_L = 0,31 \text{ m.c.a.} \cdot 1 \text{ atm} / 10,33 \text{ m.c.a.} = 0,03 \text{ atm}$$

### *b3) Pérdidas de carga debidas a los difusores*

Atendiendo a los datos bibliográficos, los difusores presentan una pérdida de carga comprendida entre 13 y 48 cm. Se tomará el valor medio de 30 cm. Se colocarán 6 difusores. La pérdida de carga de los difusores viene dada por la ecuación [102]:

$$P_{\text{difusores}} = \rho \cdot g \cdot h \quad [102]$$

$$P_{\text{difusores}} = 1,106 \cdot 9,8 \cdot (0,3 \cdot 6) = 19,51 \text{ (Kg) / (m} \cdot \text{s}^2)$$

$$P_{\text{difusores}} = 19,51 \text{ Pa}$$

$$P_{\text{difusores}} = 19,51 \text{ Pa} \cdot 1 / 101325 \text{ Pa}$$

$$P_{\text{difusores}} = 1,925 \cdot 10^{-4} \text{ atm}$$

Por todo ello, se procederá al cálculo de  $P_2$ :

$$P_2 = 1 + h_L + P + P_{\text{difusores}} \quad [103]$$

$$P_2 = 1 + 0,03 + 1,04 \cdot 10^{-4} + 1,925 \cdot 10^{-4}$$

$$P_2 = 1,03 \text{ atm}$$

Se calculará entonces la potencia del soplante:

$$P_{\text{soplante}} (\text{Kw}) = [(W \cdot R \cdot T) / (29,7 \cdot n \cdot e)] [(P_2 / P_1)^{0,283} - 1] \quad [104]$$

$$P_{\text{soplante}} = [(0,01136 \cdot 8,314 \cdot 318,1) / (29,7 \cdot 0,283 \cdot 0,7)] [(1,03 / 1)^{0,283} - 1]$$

$$P_{\text{soplante}} = 5,11 \cdot 8,4 \cdot 10^{-3} = 0,043 \text{ Kw} = 43 \text{ W}$$

### 6.3.5 Cantidad de arenas retenidas

Este parámetro se obtiene en función de los sólidos en suspensión en el caudal de agua de entrada, sabiendo que el 5 % de éstos son arenas. La cantidad de arena retirada es diferente según el tipo de instalación. Su valor depende del régimen pluviométrico, el tipo de urbanización y el tipo de saneamiento (separativa o unitaria).



Para el cálculo de la cantidad de arenas retenidas se utilizará el dato de los sólidos totales en suspensión (SST) que aparece en la tabla 1 de este anexo.

Se sabe que [SST] = 381,3 mg / l. Dado que el 5% de estos SST son arenas, el valor buscado será 19,07 mg / l.

A continuación se calcula la carga de arenas aplicando la ecuación de la bibliografía (Hernández Lehmann, 1997):

$$\text{Carga arenas} = [\text{arenas}] \cdot Q_{\text{med}} \quad [105]$$

Por lo tanto:

$$\text{Carga arenas} = 19,07 \text{ mg / l} \cdot 2301,6 \text{ m}^3 / \text{día} \cdot 1000 \text{ l} / 1\text{m}^3 \cdot 1\text{Kg} / 10^6\text{mg}$$

$$\text{Carga arenas} = 43,9 \text{ Kg} / \text{día}.$$

Según datos experimentales, se sabe que un buen valor de eficacia de eliminación es un 80 %:

$$0,80 \cdot 43,9 = 35,12 \text{ Kg} / \text{día}.$$

En cuanto a las grasas incorporadas en las aguas residuales, haciendo uso de la metodología expuesta por Hernández Lehmann, 1997, puede considerarse un valor de 24 gramos de grasa por habitante y día. Se estima que un rendimiento del 60 % es un buen valor, por lo que se tendrá lo siguiente:

Volumen de grasas =  $0,6 \cdot 0,024 \text{ Kg / hab}\cdot\text{día} \cdot 11507 \text{ hab}$

Volumen de grasas = 165,70 Kg / día

## **7. TRATAMIENTO SECUNDARIO O BIOLÓGICO.**

El objetivo principal en el tratamiento secundario es la coagulación, eliminación y estabilización de la materia orgánica. Por ello se emplea la acción de los microorganismos, que usan como fuente de alimentación la materia orgánica del agua residual. El proceso elegido para el tratamiento biológico, (ver justificación de su elección en el apartado 5 de la memoria descriptiva, en el estudio de viabilidad) es la aireación prolongada, debido a su bajo coste de construcción, mantenimiento y facilidad de explotación.

### **7.1. Dimensionamiento del reactor biológico.**

Para el dimensionamiento del reactor biológico se ha tenido en cuenta la  $\text{DBO}_5$ , la temperatura media del agua residual, el grado de nitrificación y de desnitrificación del sistema y el pH del agua residual (importante para conocer el grado de nitrificación del sistema).

Por otro lado, la presencia de nitrógeno en las aguas residuales es perjudicial para los cauces receptores, como ya se ha expuesto en la memoria descriptiva; por lo que se adoptará como sistema de tratamiento biológico un sistema de aireación prolongada por nitrificación – desnitrificación por desnitrificación desconectada. Con esto se consigue un volumen anóxico mínimo con el consiguiente ahorro de materiales y con un caudal de recirculación.

Una vez dicho esto, se procederá al cálculo del reactor biológico. El modelo de base se tomará de la bibliografía (Hernández Lehmann, 1997)

En los procesos de aireación prolongada, no existe decantación primaria. Se partirá de los siguientes parámetros básicos.

<b>CAUDALES DE CÁLCULO</b>	
Medio	$Q_{med} = 95,9 \text{ m}^3 / \text{h}$
Máximo	$Q_{m\acute{a}x} = 101,6 \text{ m}^3 / \text{h}$
<b>CARGAS DE CÁLCULO</b>	
DBO <sub>5</sub>	660,6 kg / d
	254,2 mg / l
SSV	693,6 kg / d
SST	990,9 kg / d
N	103,94 kg / d
pH	7,5
DQO	1299,298 kg / d
	550 mg / l

**Tabla 12. Parámetros de diseño para la aireación prolongada.**

Se utilizarán los caudales medios para realizar los cálculos.

Los datos del influente son:

$$\text{DBO}_5 = 254,2 \text{ mg / l}$$

$$\text{DQO} = 550 \text{ mg / l}$$

$$Q_{\text{med}} = 2301,6 \text{ m}^3 / \text{ día}$$

$$[\text{SST}] = 381,3 \text{ mg / l}$$

$$\text{NKT} = 40 \text{ mg / l}$$

Se analizarán a continuación las relaciones  $\text{DQO} / \text{DBO}_5$  y  $\text{NKT} / \text{DBO}_5$

$$\text{DQO} / \text{DBO}_5 = 550 / 254,2 = 2,16$$

$$\text{NKT} / \text{DBO}_5 = 40 / 254,2 = 0,16$$

La norma alemana ATV A – 131 (Hernández Lehmann, 1997) indica que, para la viabilidad de este tipo de procesos, el agua bruta debe cumplir los siguientes valores de  $\text{DQO} / \text{DBO}_5$  y  $\text{NKT} / \text{DBO}_5$ :

$$\text{DQO} / \text{DBO}_5 \approx 2$$

$$\text{NKT} / \text{DBO}_5 \approx 0,25$$

Se puede apreciar, por tanto, como el agua de entrada tiene unos valores de  $\text{DQO} / \text{DBO}_5$  y  $\text{NKT} / \text{DBO}_5$  muy cercanos a las recomendaciones. Esto hace que se adopte como adecuado el sistema de tratamiento expuesto anteriormente.

El procedimiento de cálculo que se utilizará para diseñar el reactor biológico está basado en el modelo propuesto por la bibliografía (Hernández Lehmann, 1997), según el cual se deben cumplir los siguientes valores:

Sólidos en suspensión en el licor mezcla:  $X \text{ (MLSS)} = X_{v,a} = 4000 \text{ mg / l}$

Sólidos en suspensión volátiles en el licor mezcla: (MLSSV)

$$\text{(MLSSV)} = 0,8 \cdot 4000 = 3200 \text{ mg / l}$$

Se muestran a continuación los valores límite de los vertidos, reflejados en el Real Decreto Ley 11 / 1995 (Reglamento de la Ley de Aguas de 1988, Organización Mundial de la Salud ,1963).

<i>Características exigidas a vertidos depurados</i>		
<b>Parámetro</b>	<b>Concentración</b>	<b>Reducción %</b>
DBO <sub>5</sub> sin nitrificación	25 mg/l O <sub>2</sub>	70-90
DQO	125 mg/l O <sub>2</sub>	75
SS	35 mg/l	90

**Tabla 13. Valores límite de los vertidos.**

Por otro lado, los niveles de nitrógeno y fósforo para vertido en zonas sensibles es (Reglamento de la Ley de Aguas de 1988, Organización Mundial de la Salud ,1963):

<b>Parámetro</b>	<b>Concentración</b>	<b>Reducción</b>
N total	15 mg/l	70-80 %
P total	2 mg/l	80 %

**Tabla 14. Niveles de P y N permitidos.**

En la tabla 15 se muestra un resumen de los datos de diseño que se utilizarán para el dimensionamiento de la EDAR de Medina Sidonia:

<b>Parámetro</b>	<b>Concentración</b>
$Q_F$ (m <sup>3</sup> / s)	0,027
$X_{v,u}$ (mg / l)	12500
$X_{v,a}$ (mg / l)	4000
$S_F$ (mg / l)	254,2
$S_e$ (mg / l)	20
T verano = T máx (°C)	45,1
T invierno = T mín (° C)	-0,8
T verano agua (° C)	20
T invierno agua (° C)	12
$F_v$	0,8
$X_{v,e}$ (mg / l)	16

**Tabla 15. Datos de diseño**

Para el diseño del reactor biológico se deben tener en cuenta los datos de diferentes coeficientes cinéticos (Ramalho, 1996)

### *Coefficientes cinéticos*

- Coeficiente de crecimiento:  $Y = 1,3 \text{ Kg MLVSS} / \text{Kg DBO}_{\text{consumida}}$
- Coeficiente de mortalidad:  $K_d = 0,06 \text{ d}^{-1}$
- $a (\text{Kg O}_2 / \text{Kg DBO}_5 \text{ consumido}) = 0,52$
- $b (\text{Kg O}_2 / \text{d Kg MLVSS}) = 0,67$
- Sólidos en suspensión en el licor mezcla:  $X (\text{MLSS}) = 4000 \text{ mg} / \text{l}$
- Sólidos en suspensión volátiles en el licor mezcla:  $(\text{MLSSV}) =$   
 $(\text{MLSSV}) = 0,8 \cdot 4000 = 3200 \text{ mg} / \text{l}$
- Edad del fango:  $\theta_c = 20 \text{ días}$ . (tabla 16) (Hernández Lehmann, 1997)  
(Para este valor se tiene una  $\text{DBO}_5$  soluble en el afluente de  $6 \text{ mg} / \text{l}$ ).

Edad del fango $\theta_c$	Concentraciones en el agua depurada					
	S.S. Variable			S.S. Constante		
	S.S.	DBO <sub>5</sub>	DBO <sub>5</sub> soluble	S.S.	DBO <sub>5</sub>	DBO <sub>5</sub> soluble
(d)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
1	40	47	23	30	41	23
2	40	40	16	30	34	16
3	30	31	13	30	31	13
4	25	26	11	30	29	11
5	25	24	9	30	27	9
6	25	24	9	30	27	9
7	25	23	8	30	26	8
8	20	20	8	30	26	8
9	20	19	7	30	25	7
10	20	19	7	30	25	7
12	20	19	7	30	25	7
14	20	19	7	30	25	7
16	20	18	6	30	24	6
18	20	18	6	30	24	6
20	15	15	6	30	24	6
25	15	15	6	30	24	6
30	15	14	5	30	23	5

**Tabla 16 Concentraciones en el agua depurada**

## 7.2. Rendimiento del proceso.

El rendimiento del proceso en este caso será:

$$\mu = (S_F - S_E) / S_F \quad [106]$$

$$\mu = (254,2 - 20) / 254,2 = 0,92 = 92 \%$$

Pero el rendimiento así calculado no es exacto, porque la mayor parte de las materias que escapan del decantador son en realidad flóculos cuya síntesis ha consumido oxígeno, y lógicamente hay que tenerlo en cuenta a la hora de calcular las necesidades de oxígeno. Por tanto, para hacer un cálculo exacto conviene evaluar la DBO<sub>5</sub> disuelta en el efluente.



Generalmente, la fracción soluble de la DBO<sub>5</sub> del agua depurada representa del 30 al 50% del total. Para calcularlo se seguirá el razonamiento propuesto por Metcalf & Eddy, 1995. Se adoptarán, por tanto las siguientes suposiciones:

De los 20 mg / l de DBO<sub>5</sub> contenidos en el efluente, como es el caso de este proyecto, el 80 % son volátiles (según datos de partida de diseño) y se estima que el 65 % son biodegradables.

Para calcular DBO<sub>5</sub> del efluente se aplica la ecuación (107)

$$\text{DBO}_5 \text{ del efluente} = \text{DBO}_5 \text{ soluble del efluente que escapa al tratamiento} \\ + \text{DBO}_5 \text{ de los S.S. del afluente} \quad [107]$$

$$20 = S + (20 \cdot 0,65 \cdot 1,45 \cdot 0,68) \rightarrow S = 7,18$$

Los términos de la ecuación se han tomado de la bibliografía (Hernández Lehmann, 1997). Por lo que el término “DBO<sub>5</sub> de los S.S. del afluente” se obtiene de multiplicar DBO<sub>5</sub> del efluente por una serie de factores obtenidos de la bibliografía.

Por lo tanto, el rendimiento será

$$\mu = (254,2 - 7,18) / 254,2 = 97,17\%$$

### **7.3. Volumen del reactor.**

Para estimar el volumen del reactor biológico, se determinará el volumen mínimo necesario según MLSS, tiempo de retención, carga másica y carga volúmica y se adoptará el valor más desfavorable. Se tendrán en cuenta solamente los valores de volumen que cumplan las especificaciones que se reflejan en la tabla 17.

Variantes del proceso		Edad del fango (d)	Tiempo de retención (h)	Carga másica (kg DBO <sub>5</sub> /d/kg MLSSV)	Carga volúmica (kg DBO <sub>5</sub> /d/m <sup>3</sup> )	MLSS (mg/l)
Convencional		4-12	4-8	0,2-0,4	0,32-0,64	1.500-3.500
Mezcla completa		4-12	4-8	0,2-0,6	0,8-1,8	2.500-4.000
Aireación escalonada		4-12	4-8	0,2-0,4	0,64-1,0	2.000-3.500
Contacto-estabilización	U.C	3-10	3-6	0,5-2	1,5-3	1.000-3.000
	U.E		1-3	0,2-0,6	0,8-1,2	4.000-10.000
Alta Carga		4-8	2-4	0,4-1	1,3-3,0	4.000-10.000
Aireación prolongada		> 20	16-24	0,05-0,15	0,16-0,35	3.000-6.000

**Tabla 17. Valores normales de diseño para los diferentes procesos de fangos activos**

- **Según MLSS.**

Para estimar el cálculo del volumen del reactor se aplicará la ecuación [44]:

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

$$V_r = 2301,6 \cdot 20 \cdot 1,3 \cdot (254,24 - 6) / 4000 (1 + 0,06 \cdot 20) = 1688,08 \text{ m}^3$$

- **Según tiempo de retención.**

Como el tiempo de retención ( $t_r$ ) debe ser mayor de 20 horas (ver tabla 17), sustituyendo " $t_R$ " por  $V_R / Q$ , se obtiene:

$$t_R = V_R / Q \rightarrow V_R = (20 / 24) \cdot 2301,6 = 1918 \text{ m}^3.$$

- **Según la carga másica.**

Para calcular la carga másica “C<sub>m</sub>”, se aplicará la ecuación [46] de la memoria descriptiva.

“C<sub>m</sub>” debe ser menor que 0,15 en procesos de aireación prolongada (ver tabla 17). Por lo que se tendrá lo siguiente:

$$C_m = S_0 \cdot Q / (X \cdot V_R) \rightarrow V_R = 254,24 \cdot 2301,6 / (4000 \cdot 0,15)$$

$$V_R = 1462,9 \text{ m}^3$$

- **Según la carga volúmica.**

Se aplicará la ecuación [47] de la memoria descriptiva.

Teniendo en cuenta que C<sub>v</sub> debe ser menor de 0,35 en procesos de aireación prolongada (ver tabla 17), se tiene lo siguiente:

$$C_v = (S_0 \cdot Q) / V_R \rightarrow V_R = (254,24 \cdot 2301,9) / (1000 \cdot 0,35)$$

$$V_R = 1671,7 \text{ m}^3.$$

Por lo tanto el volumen del reactor deberá ser mayor que 1917,83 m<sup>3</sup>, por lo que adoptando una cuba de dimensiones 15 x 38 x 3,5 m, se tiene finalmente:

$$V_R = 1995 \text{ m}^3$$

Las dimensiones se estimarán simplemente, en base a que su producto cumpla el valor del volumen calculado.

Se deben efectuar las siguientes comprobaciones:

- Edad del fango:

Con el nuevo volumen adoptado, la nueva edad del fango será:

$$1 / \theta_c = [Y \cdot Q \cdot (S_0 - S)] / [(V_r \cdot X)] - K_d \quad (76)$$

$$1 / \theta_c = [1,3 \cdot 2301,6 \cdot (254,24 - 6)] / [(1995 \cdot 4000)] - 0,06$$

Se obtiene un nuevo valor de  $\theta_c$

$$\theta_c = 30,23 \text{ días.}$$

- Comprobación de la carga másica:

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

$$C_m = (254,24 \cdot 2301,6) / (4000 \cdot 1995)$$

$$C_m = 0,073 \text{ kg DBO}_5 / \text{d} / \text{MLSS} \text{ (Valor aceptable según la tabla 17)}$$

- Comprobación de la carga volúmica:

$$C_v = (S_0 \cdot Q) / V_R$$

$$C_v = (254,24 \cdot 2301,6) / (1995 \cdot 1000)$$

$$C_v = 0,29 \text{ kg DBO}_5 / \text{d} / \text{m}^3 \text{ (Valor aceptable según la tabla 17).}$$

#### 7.4. Necesidades teóricas de oxígeno.

Para calcular la necesidad teórica de oxígeno habrá que diferenciar entre el oxígeno necesario para la síntesis y, el necesario para la endogénesis.

- **Oxígeno para la síntesis:**

Para calcular las necesidades de oxígeno se tomará el modelo de cálculo expuesto en la bibliografía (Hernández Lehmann, 1997)

$$a = 0,5 + (0,01 \cdot \theta_c) \quad [108]$$

$$a = 0,5 + (0,01 \cdot 30,23)$$

$$a = 0,80 \text{ O}_2 / \text{kg DBO}_5$$

Como este valor es superior a 0,52, se adoptará directamente:

$$a = 0,52 \text{ kg O}_2 / \text{kg DBO}_5$$

Por lo que el oxígeno teórico necesario para la síntesis es:

$$\text{O.N.}_s = 660,660 \text{ Kg DBO}_5 / \text{día} \cdot 0,52 \text{ kg O}_2 / \text{kg DBO}_5$$

$$\text{O.N.}_s = 343,54 \text{ kg O}_2 / \text{día}$$

- **Oxígeno para la endogénesis:**

$$b = (0,13 \cdot \theta_c) / (1 + (0,16 \cdot \theta_c)) \quad [109]$$

$$b = (0,13 \cdot 30,23) / (1 + (0,16 \cdot 30,23))$$

$$b = 0,67 \text{ kg O}_2 / \text{kg DBO}_5$$

Por lo que el oxígeno teórico necesario para la endogénesis es:

$$O.N. _E = [660,660 \text{ Kg DBO}_5 / \text{ día}] \cdot [0,67 \text{ kg O}_2 / \text{ kg DBO}_5]$$

$$O.N. _E = 442,64 \text{ kg O}_2 / \text{ día}$$

Luego la necesidad total teórica será por tanto:

$$O.N. = O.N._S + O.N. _E \quad [110]$$

$$O.N. = 343,54 \text{ kg O}_2 / \text{ día} + 442,64 \text{ kg O}_2 / \text{ día}$$

$$O.N. = 786,18 \text{ kg O}_2 / \text{ día}$$

Pero, hay que tener en cuenta el proceso de *nitrificación* en el sistema. Por consiguiente, en el cálculo de las necesidades de oxígeno deben incluirse las debidas a la nitrificación.

A continuación se procederá a la determinación de la zona óxica y anóxica

El sistema adoptado es de cámara anóxica y óxica. Con este planteamiento se pueden calcular las siguientes necesidades de oxígeno:

Necesidades medias por síntesis  $a = 0,52 \text{ kg O}_2 / \text{ kg DBO}_5$

Por endogénesis:  $b = 0,67 \text{ kg O}_2 / \text{ kg DBO}_5$

Por Nitrificación – Desnitrificación:

- Se debe comprobar el cumplimiento de las siguientes condiciones (Hernández Lehmann, 1997):

$DQO / DBO_5 \approx 2$  (en este caso se tiene un valor de 2,16; aceptable).

$NTK / DBO_5 < 0,25$  (en este caso, se tiene un valor de 0,16; aceptable)

- Se realizará el cálculo del balance de carga de nitrógeno necesario para la nitrificación.

Lo primero será el cálculo del influente al reactor biológico:

$$\text{DBO}_5 / \text{NTK} = 254,24 / 40 = 6,356$$

$$(\text{Kg DBO}_5 / \text{día}) / 6,356 = 660,660 / 6,356 = 103,94 \text{ Kg NTK} / \text{día}$$

De esta cantidad calculada (103,94 Kg NTK / día) se supone que un 2,5% es nitrógeno orgánico y un 97,5% es nitrógeno amoniacal. De este modo, se tendrán 2,6 Kg / día de nitrógeno orgánico y 101,34 Kg/día de nitrógeno amoniacal.

De lo que se deduce lo siguiente:

$$\text{N orgánico en salida (estimado 1 mg / l)} = 2,6 \text{ kg} / \text{día}$$

$$\text{N fangos exceso (estimado 5% de DBO}_5) = 33,033 \text{ kg} / \text{día}$$

Carga nitrógeno a nitrificar:

$$\text{N}_{\text{nit}} = 103,94 - 2,6 - 33,033 = 68,307 \text{ kg} / \text{día} \text{ (26,28611 ppm)}$$

- Capacidad de desnitrificación

Los requisitos del vertido se cifrarán en:

$$\text{N-NO}_3 < 20 \text{ mg} / \text{l} \text{ (51,97 kg} / \text{día)}$$

Luego la cantidad de Nitrógeno a desnitrificar será de:

$$N_{\text{NIT}} = 68,307 - 51,97 = 16,335 \text{ kg / día}$$

por lo que la capacidad de desnitrificación será :

$$16,335 / 660,66 = 0,0247 \text{ kg N-NO}_3 / \text{kg DBO}_5$$

Adaptando un sistema de nitrificación previa, el valor mínimo que se toma como capacidad de desnitrificación es de 0,07 kg N-NO<sub>3</sub> / kg DBO<sub>5</sub>, por lo que se adoptará una relación de volúmenes del reactor de 0,2, atendiendo a la tabla 18 (Hernández Lehmann, 1997):

Desnitrificación $V_D/V_R$	Capacidad de desnitrificación en kg. N-NO <sub>3</sub> /kg. DBO <sub>5</sub>	
	Desnitrificación previa	Desnitrificación simultánea
0,2	0,07	0,05
0,3	0,10	0,08
0,4	0,12	0,11
0,5	0,14	0,14

**Tabla 18. Relación  $V_D / V_R$**

Por lo tanto:

$$V_{\text{ANÓXICO}} / V_{\text{ÓXICO}} = 0,2 \quad [111]$$

$$V_{\text{ANÓXICO}} + V_{\text{ÓXICO}} = 1995$$

$$V_{\text{ÓXICO}} + (0,2 \cdot V_{\text{ÓXICO}}) = 1995$$

$$V_{\text{ÓXICO}} = 1995 / 1,2 = 1662,5$$

$$V_{\text{ANÓXICO}} = 1995 - 1662,5 = 332,5$$



$$V_{\text{ANÓXICO}} = 332,5 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{ÓXICO}} = 1662,5 \text{ m}^3$$

Dado que las dimensiones son 15 x 38 x 3,5 m, se calculará  $L_{\text{ANÓXICO}}$  y  $L_{\text{ÓXICO}}$ :

$$L_{\text{ANÓXICO}} = 6,33 \text{ m.}$$

$$L_{\text{ÓXICO}} = 31,67 \text{ m.}$$

- Eliminación media de nitrógeno

Nitrógeno desnitrificado diariamente:

$$N\text{-NO}_{3+\text{desnitri}} = 0,07 \cdot 660,66 = 46,24 \text{ kg / día (17,79 ppm)}$$

Eliminación media de Nitrógeno:

$$\text{Elim.} = (N\text{-NO}_{3+\text{desnitri}} + N \text{ fangos exceso}) / \text{Kg NTK / día} \quad [112]$$

$$\text{Elim.} = (46,24 + 33,03) / 103,94 = 76,27\%$$

Nitratos en salida:

$$N_n - N\text{-NO}_{3+\text{desnitri}} = 68,3 - 46,24 = 22,06 \text{ kg / día,}$$

lo que suponen 8,489 ppm, por lo que se cumplen las exigencias impuestas en la tabla 14 .

- Oxígeno necesario para nitrificar / desnitrificar.

Para realizar este cálculo se tendrá en cuenta el procedimiento descrito en la bibliografía (Hernández Lehmann, 1997)

$$O.N. N = (4,6 \cdot N\text{-NO}_{3+\text{efluente}} + 1,7 \cdot N\text{-NO}_{3+\text{desnitri}}) / \text{kg. DBO}_5/\text{d} \quad [113]$$

$$O.N. N = (4,6 \cdot 22,06 + 1,7 \cdot 46,24) / 660,66 = 0,2726 \text{ kg O}_2 / \text{kg DBO}_5$$

Por tanto, en esta hipótesis, se procederá al cálculo de la necesidad total teórica de oxígeno como la suma de  $O.N. N + O.N. S + O.N. E$

$$0,27 + 0,52 + 0,67 = 1,46 \text{ kg O}_2 / \text{kg DBO}_5$$

Para el cálculo de los Kg de  $\text{DBO}_5$  eliminados al día, basta con multiplicar el rendimiento del proceso por 660,660 Kg / día de  $\text{DBO}_5$ :

$$0,9717 \cdot 660,660 = 641,96 \text{ kg DBO}_5 \text{ eliminado / d}$$

$$O.N. = 1,46 \cdot 641,96 = \mathbf{937,3 \text{ kg O}_2 / \text{día}}$$

- Necesidades punta

En este caso se considerará una punta de contaminación de 1,5. Por lo que aplicando la fórmula  $0,45 \cdot P + 55$  (Hernández Lehmann, 1997), se traduce en una punta de oxigenación sobre la síntesis y sobre la nitrificación de:

$$0,45 \cdot 1,5 + 55 = 122,5\% \quad [114]$$

Por tanto, para la necesidad de síntesis:  $1,225 \cdot 0,52 = 0,637 \text{ kg O}_2 / \text{kg}$

$\text{DBO}_5$  Necesidad de endogénesis:  $0,67 \text{ kg O}_2 / \text{kg DBO}_5$

Necesidad de nitrificación: 0,273 kg O<sub>2</sub> / kg DBO<sub>5</sub>

Y por tanto, la necesidad total en punta será:

$$0,637 + 0,67 + 0,273 = 1,58 \text{ kg O}_2 / \text{kg DBO}_5$$

Para el cálculo de los Kg de DBO<sub>5</sub> eliminados al día, basta con multiplicar el rendimiento del proceso por 660,660 Kg / día de DBO<sub>5</sub>:

$$0,9717 \cdot 660,66 \text{ kg DBO}_5 / \text{d} = 641,96 \text{ kg DBO}_5 \text{ eliminado} / \text{d}$$

$$\text{O.N. punta} = 641,96 \cdot 1,58$$

$$\text{O.N. punta} = 1014,3 \text{ kg O}_2 / \text{día}$$

### 7.5. Necesidades reales de oxígeno.

Según se ha indicado en el apartado anterior, el oxígeno teórico a aportar es de 1014,3 kg / día, pero esta cantidad se ha calculado según condiciones normalizadas de laboratorio. Para estimar el consumo en las condiciones reales, se tiene lo siguiente:

$$\text{Oxígeno real} = \text{Oxígeno necesario teórico} / K_t \quad [115]$$

siendo K<sub>t</sub> el coeficiente global de transferencia, que se calcula a su vez como el producto de otros tres coeficientes:

$$K_t = K_{t1} \cdot K_{t2} \cdot K_{t3} \text{ (Hernández Lehmann, 1997)} \quad [116]$$

- **Coefficiente  $K_{t1}$**

Este coeficiente viene definido en la bibliografía (Hernández Lehmann, 1997) a partir de la ecuación (117)

$$K_{t1} = (C'_s - C_x) / C_s \quad [117]$$

$K_{t1}$  tiene en cuenta el déficit de saturación de oxígeno del licor mezcla. En este caso, se cumple:

Temperatura del agua en el tanque de aireación: 20 °C

Concentración media de oxígeno en el tanque de aireación:  $C_x = 2 \text{ mg / l}$

Concentración de saturación en agua clara, a 20 °C y presión atmosférica normal:  $C_s = 9,17 \text{ mg/l}$

T (°C)	$C_s$ (mg/l)	T (°C)	$C_s$ (mg/l)
1	14,23	16	9,95
2	13,84	17	9,74
3	13,48	18	9,54
4	13,13	19	9,35
5	12,80	20	9,17
6	12,48	21	8,99
7	12,17	22	8,83
8	11,87	23	8,68
9	11,59	24	8,53
10	11,33	25	8,38
11	11,08	26	8,22
12	10,83	27	9,07
13	10,60	28	7,92
14	10,37	29	7,77
15	10,15	30	7,63

**Tabla 19. Valores de  $C_s$  en función de la temperatura T.**

Para calcular la concentración de saturación a la temperatura de 20°C

( $C'_s$ ), se hará a partir del valor obtenido de  $C_s$  de la tabla 18 (9,17 mg / l) aplicándole los siguientes factores de corrección:

- 1) Parámetro  $\beta$  que tiene en cuenta los sólidos en suspensión del licor y su salinidad

Para salinidad inferiores a 3 g / l, se adopta un valor de  $\beta = 0,98$

- 2) Parámetro  $C_p$ , que tiene en cuenta las variaciones de presión debidas a la altitud:  $C_p = 1 - 0,111 \cdot \text{Altitud (m)} / 1000 = 0,99001$  (altitud de 90 m s / nivel del mar).

- 3) Parámetro  $C_A$  que tiene en cuenta la altura de agua en el tanque de aireación. Como la aireación se va a llevar a cabo mediante sistemas de turbinas de superficie, la concentración de saturación media es la misma que en la superficie. Por lo tanto, no hay corrección y el valor de  $C_A$  es 1.

Aplicando los factores de corrección, el cálculo de  $C'_s$  será como sigue:

$$C'_s = C_s \cdot \beta \cdot C_p \cdot C_A = 8,8968 \quad [118]$$

Por lo que el coeficiente  $K_{t1}$  se calculará aplicando la ecuación [117]

$$K_{t1} = (8,8968 - 2) / 9,17 = 0,7521$$

- **Coeficiente  $K_{t2}$**

Tiene en cuenta la influencia de la temperatura en la velocidad de difusión del oxígeno,  $K_{t2}$  se calcula aplicando la ecuación [119] (Hernández Lehmann, 1997) :

$$K_{t2} = 1,024^{(T-10)} \quad [119]$$

Como se ha adoptado una temperatura del agua en el tanque de aireación de 20 °C se tendrá lo siguiente:

$$K_{t2} = 1,024^{(20-10)} = 1,2676$$

- **Coefficiente  $K_{t3}$**

Tiene en cuenta la influencia de la temperatura en la velocidad de disolución del oxígeno y según las características del licor, en el caso estudiado, la difusión de aire se realiza con turbinas de superficie, por lo que haciendo uso de la tabla 20 (Hernández Lehmann, 1997), se obtendrá el valor de  $K_{t3}$  :

Sistema aireación	$K_{t3}$
Aire con burbujas finas	
• Carga media sin nitrificación	0,55
• Carga baja con nitrificación	0,65
Aire con difusores estáticos	0,80
Turbinas de aireación	0,90
Aire con burbujas gruesas	0,90

**Tabla 20. Valores del coeficiente  $K_{t3}$**

$$K_{t3} = 0,9$$

Por lo tanto, el coeficiente total de transferencia  $K_t$  se calculará aplicando la ecuación [116]:

$$K_t = K_{t1} \cdot K_{t2} \cdot K_{t3} = 0,858$$

Y por lo tanto, el oxígeno a aportar en condiciones reales será el que resulte de la aplicación de la ecuación [120]:

$$\text{Oxígeno real} = \text{O.N. teórico} / K_t \quad [120]$$

$$\text{Oxígeno real} = \text{O.N. teórico} / K_t = 937,3 / 0,858 = 1092,42 \text{ kg O}_2 / \text{día}$$

En cuanto al oxígeno real en condiciones punta, se calculará haciendo uso de la ecuación [121]

$$\text{Oxígeno real en condiciones punta} = \text{O.N. teórico en punta} / K_t \quad [121]$$

$$\text{Oxígeno real en punta} = 1014,3 / 0,858 = \mathbf{1182,17 \text{ kg O}_2 / \text{día}}$$

### 7.6. Potencia a instalar.

Para calcular la potencia a instalar se adoptará una capacidad de transferencia de las turbinas de 1 kg O<sub>2</sub>/ kwh. La ecuación que se va a utilizar para este cálculo será la [122] (Hernández Lehmann, 1997)

$$P = \text{O. real punta (kg.O}_2 / \text{día)} / \text{C. Transferencia (kg O}_2 / \text{kw / h)} \quad [122]$$

$$P = 1182,17 / (1 \cdot 24) = 49,26 \text{ kw}$$

Se adoptarán 50 kw de potencia total instalada, por lo que se dispone de 2 turbinas (1 de 30 y otra de 20 kw).

### 7.7. Caudal de recirculación.

Para el cálculo del caudal de recirculación se utiliza la ecuación [59] de la memoria descriptiva:

$$Q_r = r \cdot Q_F$$

donde  $Q_r$  = Caudal de recirculación.

$r$  = Relación de reciclado.

$Q_F$  = Caudal medio

Se necesitará, por tanto, el valor de  $r$ , para lo cual se utilizará la ecuación [11] para aireación prolongada (Ramalho, 1996):

$$r = [X_{v,a} - (1-\phi) Y (S_F - S_e)] / [X_{v,u} - X_{v,a}]$$

$$r = [4000 - (1-0,77) \cdot 1,3 \cdot (254,24 - 20)] / [12500 - 4000]$$

$$r = 0,4623$$

Por todo ello, el caudal de recirculación será:

$$Q_r = r \cdot Q_F$$

$$Q_r = 0,4623 \cdot 2301,6 = 1064,03 \text{ m}^3 / \text{ día}$$

### 7.8. Caudal de purga.

Para el cálculo del caudal de purga se utilizará la ecuación [41] de la memoria descriptiva:

$$Q_w = [ (Q_F \cdot X_{v,F}) + \Delta X_v - (Q_F \cdot X_{v,e}) ] / [X_{v,u} - X_{v,e}]$$

Pero para calcular el caudal de purga, se necesita conocer el valor de  $\Delta X_v$ . Para ello se utiliza la ecuación [26] de la memoria descriptiva:

$$\Delta X_v = [Y (S_F - S_e) \cdot Q_F] - K_d X_{v,a} V$$

$$\Delta X_v = [86,4 \cdot 1,3 \cdot (254,2 - 20) \cdot 0,027] - [0,06 \cdot 4000 \cdot 1995 \cdot 10^{-3}]$$

$$\Delta X_v = 231,4 \text{ Kg} / \text{ día}$$



Por lo tanto, aplicando la ecuación [41], se obtendrá el valor de “ $Q_w$ ”:

$$Q_w = [(86,4 \cdot 0,027 \cdot 266,7) + 231,4 - (86,4 \cdot 0,027 \cdot 16)] / [(12500 - 16) \cdot 10^{-3}]$$

$$Q_w = 35,38 \text{ m}^3 / \text{día}$$

Por todo ello, el caudal de salida del efluente se calculará aplicando la ecuación [35] de la memoria descriptiva.

Si la ecuación [35] expresa que  $Q_F = Q_e + Q_w$ , despejando en esta ecuación el valor de  $Q_e$ , se obtendrá lo siguiente:

$$Q_e = Q_F - Q_w$$

$$Q_e = 2301,6 - 35,38 = 2266,22 \text{ m}^3 / \text{día}$$

Por otro lado, el caudal de la alimentación combinada se calcula aplicando la ecuación [12]:

$$Q_o = Q_F (1 + r)$$

$$Q_o = 2301,6 \cdot (1 + 0,4623) = 3365,63 \text{ m}^3 / \text{día}$$

Por último, también se podría dar el dato del caudal de descarga del decantador secundario. Este caudal se obtendría simplemente por diferencia entre el caudal inicial y el final.

$$Q_u = Q_o - Q_e$$

$$Q_u = 3365,63 - 2266,22 = 1099,41 \text{ m}^3 / \text{día}$$

### 7.9. Balance de materia para sólidos no volátiles.

Para el cálculo de  $X_{NV,a}$  se hará referencia a la ecuación [54] y a la figura 2 de la memoria descriptiva (esquema del tratamiento biológico).

$$X_{NV,a} = (1-F_V) X_{V,a} / F_V$$

$$X_{NV,a} = (1-0,8) 4000 / 0,8$$

$$X_{NV,a} = 1000 \text{ mg / l}$$

Por otro lado, se calculará  $X_{NV,u}$  haciendo uso de la ecuación [56] de la memoria descriptiva.

$$X_{NV,u} = [Q_F \cdot (1+r) X_{NV,a} - (Q_e X_{NV,e})] / [Q_u]$$

$$X_{NV,u} = [2301,6 \cdot ((1+0,4623) \cdot 1000) - 2266,22] / 1099,41$$

$$X_{NV,u} = 3059,24 \text{ mg / l}$$

Lo último en este apartado será calcular  $X_{NV,F}$ , para lo cual se aplicará la ecuación [60] de la memoria descriptiva.

$$X_{NV,F} = ((1+r) \cdot X_{NV,a}) - (r \cdot X_{NV,u})$$

$$X_{NV,F} = ((1+0,4623) 1000) - (0,4623 \cdot 3059,24)$$

$$X_{NV,F} = 48,01 \text{ mg / l}$$

### 7.10. Producción total de lodos.

Para el cálculo de la producción total de lodos, lo primero será determinar la cantidad de sólidos en suspensión en la purga  $(VSS)_W$ . Para ello se utiliza la ecuación [32] deducida en la memoria descriptiva:

$$(VSS)_W = \Delta X_V + (Q_F \cdot X_{V,F}) - (Q_e \cdot X_{V,e})$$

$$(VSS)_W = 231,56 + (86,4 \cdot 0,027 \cdot 266,7) - (0,026 \cdot 16)$$

$$(VSS)_W = 853,57 \text{ Kg / día}$$

Por otro lado, para el cálculo de los sólidos en suspensión no volátiles en la purga  $(NVSS)_W$ , se utilizará la ecuación [34] que se muestra en la memoria descriptiva:

$$(NVSS)_W = Q_W \cdot X_{NV,u}$$

$$(NVSS)_W = 86,4 \cdot 7,65 \cdot 10^{-4} \cdot 3059,24$$

$$(NVSS)_W = 202,20 \text{ Kg / día}$$

Para el cálculo de los sólidos en suspensión totales se utilizará la ecuación [37] de la memoria descriptiva:

$$(TSS)_W = (VSS)_W - (NVSS)_W$$

$$(TSS)_W = 853,57 - 202,20 = 651,37 \text{ Kg / día}$$

### 7.11. Cálculo de la DBO<sub>5</sub> en la alimentación combinada, S<sub>o</sub>, X<sub>v,o</sub>

En el caso del cálculo de la DBO<sub>5</sub> en la alimentación combinada, lo primero será determinar el valor de S<sub>o</sub>. Para ello se hará uso de la ecuación [16] expuesta en la memoria descriptiva:

$$S_o = (S_F + (r \cdot S_e)) / (1 + r)$$

$$S_o = (254,24 + (0,4623 \cdot 20)) / (1 + 0,4623)$$

$$S_o = 180,19 \text{ mg / l}$$

Por otro lado, también hay que calcular el valor de X<sub>v,o</sub>. Para ello se utilizará la ecuación [21] de la memoria descriptiva:

$$X_{v,o} = (X_{v,F} + r \cdot X_{v,u}) / (1 + r)$$

$$X_{v,o} = (266,7 + (0,4623 \cdot 12500)) / (1 + 0,4623)$$

$$X_{v,o} = 4134,21 \text{ mg / l}$$

### 7.12. Consumo de nutrientes.

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

Para estimar las necesidades de nitrógeno y fósforo se parte de los datos de la bibliografía en la que se indica que los MLVSS purgados contienen alrededor del 2% de su peso seco en fósforo y el 12% en nitrógeno (Ramalho, 1996).

### Consumo de nitrógeno

La expresión utilizada para calcular el consumo de nitrógeno será la ecuación [49] de la memoria descriptiva:

$$\text{Consumo N} = 0,12 \Delta X_V + (Q_F \cdot 1,0 \cdot 86,4)$$

$$\text{Consumo N} = (0,12 \cdot 231,56) + (0,027 \cdot 1,0 \cdot 86,4) = 30,12 \text{ Kg/día}$$

### Consumo de fósforo

En el caso del consumo de P, la expresión utilizada será la ecuación [50] de la memoria descriptiva.

$$\text{Consumo P} = (0,02 \cdot \Delta X_V) + (Q_F \cdot 0,5 \cdot 86,4)$$

$$\text{Consumo P} = (0,02 \cdot 231,56) + (0,027 \cdot 0,5 \cdot 86,4)$$

$$\text{Consumo P} = 5,79 \text{ Kg / día}$$

Pero se sabe que la cantidad de nitrógeno y fósforo de la alimentación inicial superan estos valores:

Nitrógeno total en la alimentación: 40 mg / l = 87,72 Kg / día.

Fósforo total en la alimentación: 10 mg / l = 30,7 Kg / día.

Por lo que no es necesaria una adición de dichos nutrientes, ya que las cantidades de fósforo y nitrógeno disponibles son mayores que las que se requieren.

### 7.13. Cálculo de $DBO_{5total}$

Para el cálculo de la  $DBO_{5total}$  se utilizará la ecuación [61] de la memoria descriptiva:

$$DBO_{5total} = S_e + \varphi X_{v,e}$$

Para el cálculo de  $\varphi$  se necesita conocer la relación  $A / M$ . Esta relación cumple la expresión  $S_F / X_{v,a} t$  (Ecuación [28]), siendo  $t$  el tiempo de residencia de las aguas residuales en el reactor biológico. A su vez  $t$  se calcula a partir de la ecuación [67]:

$$t = [\Phi Y (S_F - S_e)] / [K_d \cdot X_{v,a}]$$

$$t = [0,77 \cdot 1,3 (224,54 - 20)] / [0,06 \cdot 4000]$$

$$t = 0,85 \text{ días} = 20,4 \text{ h}$$

Este dato está dentro de los límites establecidos por la bibliografía (Ramalho, 1996), para aireación prolongada, entre 15 y 36 h.

Por lo tanto, la relación A / M será:

$$A / M = 254,24 / (4000 \cdot 0,85) = 0,07 \text{ d}^{-1}$$

El valor de  $\phi$  será de 0,06, haciendo uso de la figura 4 de la memoria descriptiva.

Por lo que  $\text{DBO}_{5\text{total}}$  será:

$$\text{DBO}_{5\text{total}} = 20 + (0,06 \cdot 12) = 20,7 \text{ mg / l}$$

Este valor es aceptado, ya que es inferior a los 25 mg/l, valor límite de  $\text{DBO}_5$  exigido por la norma a los vertidos depurados.

## **8. DECANTACIÓN SECUNDARIA**

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

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

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

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

### 8.1 Cálculo de las dimensiones del decantador.

#### Condiciones de funcionamiento.

Para el dimensionado del decantador, el parámetro de diseño principal es la velocidad ascensional, junto con el tiempo de retención y la carga en el vertedero. Normalmente el diseño de decantadores en un proceso de aireación prolongada consta de los siguientes parámetros (Hernández Lehmann, 1997):

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

**Tabla 21. Parámetros de diseño para decantadores secundarios.**

Los caudales de cálculo son en este caso:



$Q_{\text{med}} \text{ (m}^3/\text{h)}$	$Q_{\text{max}} \text{ (m}^3/\text{h)}$	$Q_{\text{recirculación}} \text{ (m}^3/\text{h)}$
95,6	101,6	44,33

**Tabla 22. Caudales de cálculo**

### Dimensiones.

- **Diámetro y superficie.**

Si se parte del caudal máximo, se tiene:

$$A (Q_{\text{máx}}) = Q_{\text{máx}} / V_{\text{asc}} (Q_{\text{máx}}) = 101,6 / 1,5 = 67,73 \text{ m}^2$$

Según el caudal medio:

$$A (Q_{\text{med}}) = Q_{\text{med}} / V_{\text{asc}} (\text{med}) = 95,9 / 0,7 = 137 \text{ m}^2$$

Se seleccionará el valor mayor de las áreas, por ser el caso más desfavorable. Por lo tanto  $S = 136,57 \text{ m}^2$ . Se adoptará una unidad circular de diámetro:

$$D = \sqrt{(4 A / \pi)} = \sqrt{(4 \times 137 / \pi)}$$

$$D = 13,2\text{m}$$

$$S_{\text{real}} = 137 \text{ m}^2.$$

### Comprobación de la carga de sólidos

Teniendo en cuenta la tabla 20, se calculará a continuación la carga de sólidos, utilizando la ecuación [123]:

$$C_{\text{sólido Q máx}} = X_{v,a} \cdot Q_{\text{máx}} / S_{\text{real}} \quad [123]$$

A Caudal máximo:

$$C_{\text{Q máx}} = (4000 / 1000) \cdot 101,6 / 137 = 2,97 \text{ kg} / \text{m}^3 / \text{d}$$

Al ser  $C_{\text{Q máx}} \leq 7 \text{ kg} / \text{m}^3 / \text{d}$ , se considera un valor válido, atendiendo a la tabla 21

A Caudal medio:

$$C_{\text{Q med}} = ((4000 / 1000) \cdot 95,9) / 137 = 2,8 \text{ kg} / \text{m}^3 / \text{d}$$

Al ser  $C_{\text{Q máx}} \leq 4,2 \text{ kg} / \text{m}^3 / \text{d}$ , se considera un valor válido, atendiendo a la tabla 21.

- **Cálculo de volumen y altura.**

A caudal máximo, la expresión que se utiliza para calcular el volumen es la ecuación [124]:

$$V_{Q \text{ máx}} = t_{R \text{ Qmáx}} \cdot Q_{\text{máx}} \quad [124]$$

$$V_{Q \text{ máx}} = 1,7 \cdot 101,6 = 172,72 \text{ m}^3$$

A caudal medio, la expresión que se utiliza para calcular el volumen es la ecuación [125]:

$$V_{Q \text{ med}} = t_{R \text{ Qmed}} \cdot Q_{\text{med}} \quad [125]$$

$$V_{Q \text{ med}} = 3,6 \cdot 95,9 = 345,24 \text{ m}^3$$

Es decir, el volumen total de decantación debe ser mayor o igual de  $345,24 \text{ m}^3$ . Si se conocen el volumen y el área, se podrá calcular la altura.

Para el cálculo de la altura, se hará uso de la ecuación [126]:

$$h \geq \text{Volumen} / \text{Superficie} \quad [126]$$

$$h \geq 345,24 / 137 = 2,52 \text{ m} .$$

Este valor es menor al mínimo recomendado (entre 3 y 5 m). Por ello, se adoptará una  $h = 3 \text{ m}$

Por lo tanto, el volumen real será el que resulte de la aplicación de la ecuación [127]:

$$V_{\text{real}} = h_{\text{útil}} \cdot S_{\text{real}} \quad [127]$$

$$V_{\text{real}} = 3 \cdot 137 = 411 \text{ m}^3.$$

- **Comprobación de la carga sobre vertedero.**

A caudal máximo, se aplicará la ecuación [128]:

$$C_{\text{vertedero de Q máx}} = Q_{\text{máx}} / 2 \cdot \pi \cdot D \quad [128]$$

$C_{\text{vertedero de Q máx}} = 101,6 / (2 \cdot \pi \cdot 13,2) = 1,22 \text{ m}^3 / \text{h m}$ . Se cumple que  $1,22 \text{ es } \leq 9 \text{ m}^3 / \text{h m}$ ., por lo que se considera un valor válido, atendiendo a la tabla 21.

A caudal medio, se aplicará la ecuación [129]:

$$C_{\text{vertedero de Q med}} = Q_{\text{med}} / 2 \cdot \pi \cdot D \quad [129]$$

$C_{\text{vertedero de Q med}} = 95,9 / 2 \cdot \pi \cdot 13,2 = 1,15 \text{ m}^3 / \text{h m}$ . Se cumple que  $1,15 \text{ m}^3 / \text{h m}$ . es  $\leq 4 \text{ m}^3 / \text{h m}$ ., por lo que se considera un valor válido, atendiendo a la tabla 21.

El decantador secundario constará de un tanque tronco-cónico de 13,2 m de diámetro y una altura de 3 m. La inclinación de la solera será del 5% y tendrá un mecanismo de paletas rascadoras para impedir la deposición de los lodos.

Las aguas clarificadas saldrán por un rebosamiento en el centro del tanque e irán a parar a una tubería que las conducirá a la zona de vertido.

Los lodos se depositarán en el fondo del tanque y serán recogidos por la parte central con una bomba de tornillo excéntrico, para ser purgados y recirculados al reactor biológico, a través de una tubería que llevará incorporada una válvula de regulación.

## 9. BALANCE GLOBAL AL FÓSFORO.

Se va a considerar el reactor y el decantador como una caja negra. Se estima que para un agua residual urbana, la cantidad de fósforo presente es de 5 mg/l ( $86,4 \cdot 0,027 \cdot 5 = 1,17 \text{ Kg / día}$ )

$$\left( \begin{array}{c} \text{Cantidad de fósforo} \\ \text{que entra al sistema} \end{array} \right) = \left( \begin{array}{c} \text{Cantidad de fósforo} \\ \text{que sale del sistema} \end{array} \right)$$

Por lo tanto, se tendrá la ecuación [130]:

$$Q_F \cdot P_F = (Q_e \cdot P_e) + (Q_e \cdot P_{xv,e}) + (Q_w \cdot P_w) + (Q_w \cdot P_{xv,u}) \quad [130]$$

Siendo P la cantidad de fósforo. Los subíndices indican lo mismo que se ha expresado anteriormente al hacer referencia a la nomenclatura

Se supondrá una concentración de fósforo en el efluente igual que en la purga. Esto es,  $P_e = P_w$ . Por lo que se obtiene la ecuación [131]

$$P_e = [(Q_F \cdot P_F) - (Q_e \cdot P_{xv,e}) - (Q_w \cdot P_{wv,u})] / (Q_e + Q_w) \quad [131]$$

Siendo  $P_F = 5 \text{ mg / l}$

$$P_{xv,e} = 2\% X_{v,e} = 0,02 \cdot 16 = 0,32 \text{ mg / l}$$

$$P_{\text{wvu}} = 2 \% X_{\text{v,u}} = 0,02 \cdot 12500 = 250 \text{ mg / l}$$

$$P_e = [2103,6 \cdot (5 / 1000) - 2266,22 \cdot (0,32 / 1000) - 35,38 \cdot (250 / 1000)] / (2266,22 + 35,38) = 4,12 \cdot 10^{-4} \text{ Kg / m}^3 = 0,412 \text{ mg / l}$$

El fósforo total que sale del efluente sería la suma del fósforo líquido libre y el contenido en los microorganismos. De esta manera:

$$P_{\text{total efluente}} = P_e + P_{\text{xv,e}} = 0,412 + 0,32 = 0,732 \text{ mg / l}$$

Este valor se encuentra dentro de los límites permitidos por la ley para verter a zonas sensibles, ya que no se permite verter concentraciones de fósforo superiores a 2 mg/l.

## 10. NITRIFICACIÓN – DENITRIFICACIÓN.

Para el cálculo de este apartado se van a utilizar los datos calculados anteriormente de caudales y cantidad de materia orgánica eliminada por aireación prolongada.

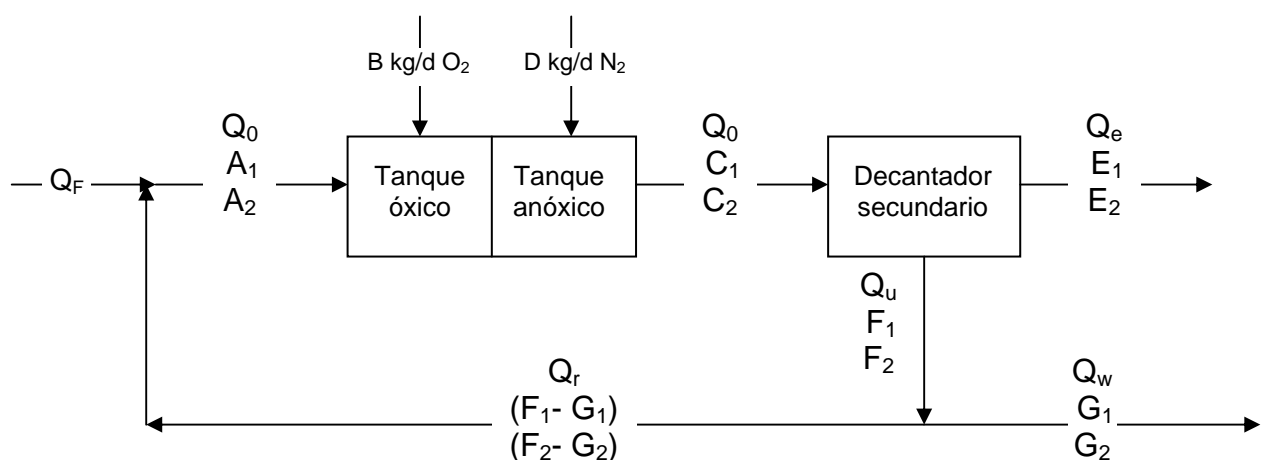
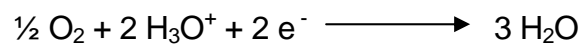
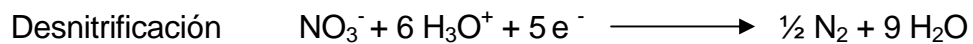
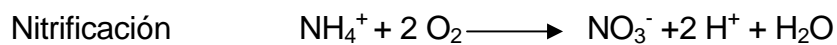


Figura 8. Diagrama de flujo para el nitrógeno

Se sabe por el Real Decreto Ley 11/1995, que el vertido de Nitrógeno en zonas sensibles no puede superar los 15 mg / l. En base a la bibliografía (Ramalho, 1996) se van a fijar unos valores de  $\text{NH}_4^+$  de 8 mg / l y de  $\text{N-NO}_3^-$  de 6 mg / l.

Las reacciones que se llevan a cabo son las que siguen:



Los valores de  $\text{NH}_4^+ = 8 \text{ mg / l}$  y  $\text{N-NO}_3^- = 6 \text{ mg / l}$  serán los valores de salida del efluente final y corresponderán a los mismos valores de las corrientes de descarga del clarificador, de purga y de recirculación, puesto que no existe ninguna reacción implicada al tratarse de reacciones de separación de tipo físico.

Por todo ello, se tendrá lo siguiente:

$$C_1 (8 \text{ mg / l}) = 8 \text{ mg / l} \cdot 10^3 \text{ l / m}^3 \cdot 1 \text{ Kg / } 10^6 \text{ mg} \cdot 3365,63 \text{ m}^3 / \text{ día}$$

$$C_1 (8 \text{ mg / l}) = 26,92 \text{ Kg / día}$$

$$C_2 (6 \text{ mg / l}) = 6 \text{ mg / l} \cdot 10^3 \text{ l / m}^3 \cdot 1 \text{ Kg / } 10^6 \text{ mg} \cdot 3365,63 \text{ m}^3 / \text{ día}$$

$$C_2 (6 \text{ mg / l}) = 20,19 \text{ Kg / día}$$

Los caudales másicos serán:

$$E_1 (8 \text{ mg / l}) = 8 \text{ mg / l} \cdot 10^3 \text{ l / m}^3 \cdot 1 \text{ Kg / } 10^6 \text{ mg} \cdot 2235,48 \text{ m}^3 / \text{ día}$$

$$E_1 (8 \text{ mg / l}) = 17,88 \text{ Kg / día}$$

$$E_2 (6 \text{ mg / l}) = 6 \text{ mg / l} \cdot 10^3 \text{ l / m}^3 \cdot 1 \text{ Kg / } 10^6 \text{ mg} \cdot 2235,48 \text{ m}^3 / \text{ día}$$

$$E_2 (6 \text{ mg / l}) = 13,41 \text{ Kg / día}$$

$$G_1 (8 \text{ mg / l}) = 8 \text{ mg / l} \cdot 10^3 \text{ l / m}^3 \cdot 1 \text{ Kg / } 10^6 \text{ mg} \cdot 66,12 \text{ m}^3 / \text{ día}$$

$$G_1 (8 \text{ mg / l}) = 0,53 \text{ Kg / día}$$

$$G_2 (6 \text{ mg / l}) = 6 \text{ mg / l} \cdot 10^3 \text{ l / m}^3 \cdot 1 \text{ Kg / } 10^6 \text{ mg} \cdot 66,12 \text{ m}^3 / \text{ día}$$

$$G_2 (6 \text{ mg / l}) = 0,40 \text{ Kg / día}$$

$$F_1 - G_1 (8 \text{ mg / l}) = 8 \text{ mg / l} \cdot 10^3 \text{ l / m}^3 \cdot 1 \text{ Kg / } 10^6 \text{ mg} \cdot 1064,03 \text{ m}^3 / \text{ día}$$

$$F_1 - G_1 (8 \text{ mg / l}) = 8,51 \text{ Kg / día}$$

$$F_2 - G_2 (6 \text{ mg / l}) = 6 \text{ mg / l} \cdot 10^3 \text{ l / m}^3 \cdot 1 \text{ Kg / } 10^6 \text{ mg} \cdot 1064,03 \text{ m}^3 / \text{ día}$$

$$F_2 - G_2 (6 \text{ mg / l}) = 6,38 \text{ Kg / día}$$

Se realizará a continuación el balance de materia a la alimentación combinada.

$$\left( \begin{array}{l} \text{Cantidad de sustrato} \\ \text{que entra al sistema} \end{array} \right) = \left( \begin{array}{l} \text{Cantidad de sustrato} \\ \text{que sale del sistema} \end{array} \right)$$



Si se hace el balance para cada componente se tiene lo siguiente:

$$\text{NH}_4^+: \quad A_1 = 87,72 + 8,51 = 96,23 \text{ Kg / día}$$

$$\text{NO}_3^-: \quad A_2 = 6,38 \text{ Kg / día}$$

Por todo ello, se podrá calcular la cantidad de  $\text{NH}_4^+$  consumido en la nitrificación:

$$(\text{NH}_4^+)_{\text{consumido}} = A_1 - C_1 = 96,23 - 26,92 = 69,31 \text{ Kg NH}_4^+ / \text{ día}$$

Lo siguiente será realizar un balance de materia al reactor:

Para este estudio hay que tener en cuenta dos zonas bien diferenciadas. Una en la que tiene lugar la conversión de  $\text{NH}_4^+$  en  $\text{NO}_3^-$  (zona aireada) y otra en la que los nitratos pasan a nitrógeno gas y escapan a la atmósfera.

Se nombrará como  $H_2$  a la cantidad de nitratos formados a partir de nitrógeno amoniacal. Por todo ello, el balance quedará:

$$\left( \begin{array}{c} \text{Cantidad de sustrato} \\ \text{que entra al sistema} \end{array} \right) = \left( \begin{array}{c} \text{Cantidad de sustrato} \\ \text{que sale del sistema} \end{array} \right) - \left( \begin{array}{c} \text{Cantidad generada} \\ \text{en el sistema (G)} \end{array} \right)$$



Balance al  $\text{NO}_3^-$

$$A_2 = H_2 - (G) = 6,38$$

Se necesitará el valor de  $H_2$  y  $G$ . Para el caso de  $G$ , se puede calcular en relación al  $\text{NH}_4^+$  consumido:

$$G = 69,31 \text{ Kg } \text{NH}_4^+ / \text{ día} \cdot 1 \text{ mol } \text{NH}_4^+ / 1 \text{ mol } \text{NO}_3^- \cdot 1 \text{ mol } \text{NH}_4^+ / 18 \cdot 10^{-3} \text{ Kg } \text{NH}_4^+ \\ \cdot 62 \cdot 10^{-3} \text{ Kg } \text{NO}_3^- / 1 \text{ mol } \text{NO}_3^- = 238,94 \text{ Kg } \text{NO}_3^- / \text{ día}$$

Por lo tanto, el cálculo de  $H_2$  es inmediato:

$$H_2 = (G) + 6,38 = 238,94 + 6,38 = 245,32 \text{ Kg } \text{NO}_3^- \text{ formado} / \text{ día}$$

*Reacción segunda:*  $\text{NO}_3^- \rightarrow 1/2 \text{ N}_2$

Se aplicará el balance al  $\text{N}_2$ , siendo la entrada cero.

$$0 = D - G$$

En este caso la generación de  $\text{N}_2$  ( $G$ ) se puede calcular a partir del consumo de  $\text{NO}_3^-$ . Por lo tanto:

El  $\text{NO}_3^-$  consumido para la nitrificación vendrá dado por la siguiente expresión:

$$\text{NO}_3^- \text{ consumido Nitrif} = H_2 - C_2 = 245,32 - 20,19 = 225,13 \text{ Kg } \text{NO}_3^- / \text{ día.}$$

Por lo tanto, el cálculo de D será:

$$D = 225,13 \text{ Kg NO}_3^- / \text{ día} \cdot 10^3 \text{ g NO}_3^- / 1 \text{ Kg NO}_3^- \cdot \frac{1}{2} \text{ mol N}_2 / 1 \text{ mol NO}_3^- \cdot 28 \cdot 10^3 \text{ Kg N}_2 / 1 \text{ mol N}_2 / 1 \text{ mol NO}_3^- / 62 \text{ g NO}_3^- = 50,83 \text{ Kg N}_2 / \text{ día}$$

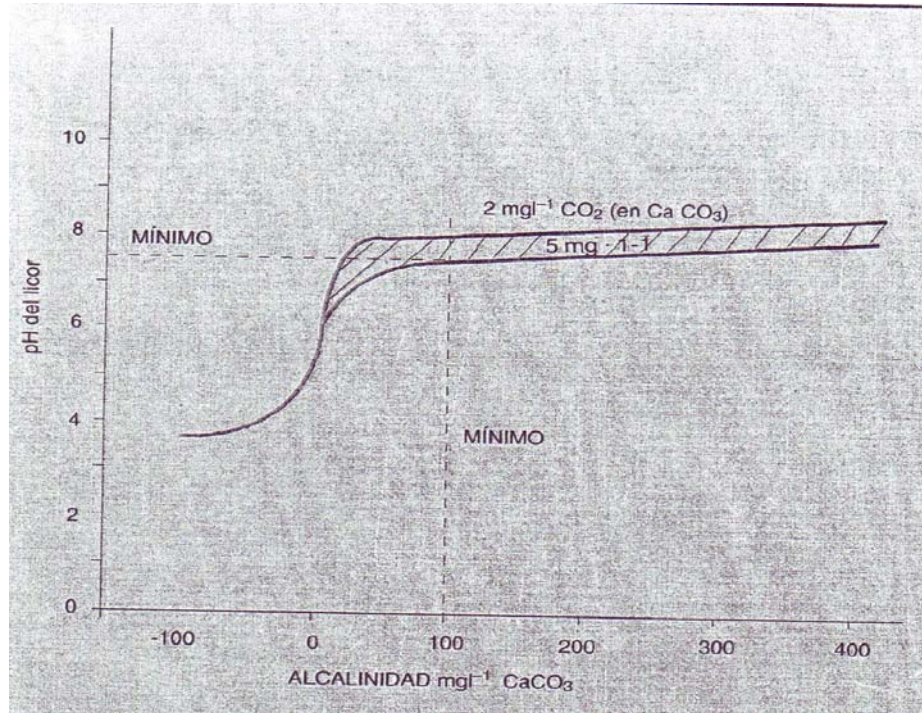
siendo  $P_m \text{ NO}_3^- = 62 \text{ g / mol}$ .

$P_m \text{ NH}_4^+ = 28 \text{ g / mol}$

## 11. PH Y ALCALINIDAD.

El pH es un factor muy influyente en el grado del crecimiento de las nitrobacterias. Su cálculo es un tanto difícil, ya que depende de innumerables factores. Por ello, este estudio va a basarse en los experimentos mostrados en la bibliografía (Ronzano, 2002), los cuales señalan que es imprescindible mantener un pH aproximado en el licor del 7,5.

Por otro lado, la alcalinidad y el CO<sub>2</sub> libre influyen en el pH. Existe una relación entre la alcalinidad, el contenido en CO<sub>2</sub> y el pH. La concentración en equilibrio con la atmósfera del CO<sub>2</sub> disuelto es de 0,6 mg / l, es decir, 1,36 mg / l de CaCO<sub>3</sub>. Si se tiene en cuenta el efecto stripping debido a la agitación del depósito, la concentración de CO<sub>2</sub> del licor no sobrepasa los 2-5 mg / l (CaCO<sub>3</sub>)



**Figura 9. Relación entre alcalinidad y pH**

En general se pueden dar variaciones de  $\text{CO}_2$ , ya que la eliminación de materia orgánica produce el descenso de su concentración. En cuanto a la alcalinidad, puede disminuir cuando se da la destrucción de los ácidos volátiles. Sin embargo, la variación principal es la de la nitrificación-desnitrificación. La nitrificación por su parte disminuye la alcalinidad, mientras que la desnitrificación da como resultado su recuperación parcial:

- La nitrificación consume 7,14 g en  $\text{CaCO}_3$  / g  $\text{NO}_3^-$  producido.
- La desnitrificación recupera 3,57 g en  $\text{CaCO}_3$  / g  $\text{NO}_3^-$  producido.

Se debe saber que el agua residual y la alimentación tienen la misma alcalinidad, aumentada en 100 y 200 mg / l. Por tanto, la alcalinidad que resulta es muy variable. Se podrá considerar que puede estar comprendida entre 200 y 400 mg / l de  $\text{CaCO}_3$ .

Se considerará un NTK de 40 mg / l, atendiendo a la tabla 1 de este documento. De estos 40 mg / l:

$$\text{Kg / l nitrificables} = A1 - C1 = 96,23 - 26,92 = 69,31 \text{ Kg NH}_4^+ / \text{día}$$

$$\text{Kg / l nitrificables} = 21,66 \text{ mg / l NH}_4^+$$

$$\text{Kg / l reducidos de nitratos} = 225,13 \text{ Kg NO}_3^- / \text{día}$$

$$\text{Kg / l reducidos de nitratos} = 70,35 \text{ mg / NO}_3^-.$$

Por lo tanto, el balance se calculará como la recuperación menos el consumo:

- Consumo:  $7,14 \cdot 21,66 = 154,65 \text{ mg / l}$

- Recuperación :  $3,57 \cdot 70,35 = 251,15 \text{ mg / l}$

Por lo tanto: Balance:  $251,15 - 154,65 = 96,5 \text{ mg / l}$

En consecuencia se puede afirmar que para mantener una alcalinidad en el licor de 100 mg / l, se precisa un agua residual de al menos 196,5 mg / l. Según los datos de la tabla 1 de este documento, el agua sometida a tratamiento tiene una alcalinidad de 200 mg / l (como Ca CO<sub>3</sub>). Por ello no será necesario aumentar la alcalinidad

## **ANEXO 2 ESTUDIO HIDRÁULICO.**

En el presente anexo se detallan los cálculos hidráulicos que han determinado la disposición y el dimensionamiento interno de los diferentes elementos que componen las instalaciones propuestas.

Se considerará que el agua residual urbana llega por gravedad a la planta de tratamiento.

Se establecerá una distancia entre equipos de 3 m, ya que se considera suficiente para permitir el paso tanto de personas como de maquinaria y poder realizar de esta forma, las tareas de conservación y mantenimiento de una manera eficaz.

En el pretratamiento la conexión se hará a través de canales abiertos.

El canal de entrada que se ha diseñado tiene una anchura de 0,5 m, una longitud de 3 m, una altura de 0,1 m y la velocidad de paso de fluido es de 1,01 m / s. Este canal se empleará para los distintos procesos del pretratamiento, ya que el caudal del agua que circula por ellos es el mismo.

Existe otro tramo de 3 m de longitud entre la reja de desbaste y el desarenador-desengrasador.

A partir del pretratamiento la impulsión se realizará a través de una bomba sumergible hasta el tanque de aireación. La circulación en el resto del tratamiento secundario se realizará a través de tuberías de acero inoxidable AISI 304. Para dimensionar estas tuberías se estimará una velocidad de circulación de 1 m / s (Hernández Lehmann, 1997), dato que se encuentra dentro del intervalo de valores válidos según la bibliografía (0,6 – 1,2 m /s) (Hernández Lehmann, 1997), ya que de esta manera se evitan sedimentaciones o depósitos que, si se dieran, producirían tanto olores originados por fermentaciones como disminución de la capacidad portante de la superficie diseñada.

El diseño se hará en base a los caudales calculados en el anexo 1 de este proyecto.

$$\text{Se sabe que } Q = v \cdot S. \quad [136]$$

donde:

$Q$  = Caudal de circulación en la tubería.

$v$  = Velocidad de circulación en la tubería. Se considera 1m/s

$S$  = Sección de la tubería. Se calcula como:

$$S = \pi \cdot r^2 \text{ (m}^2\text{)}. \quad [137]$$

Dado que el radio se define como la mitad del diámetro ( $d / 2$ ), para calcular el diámetro de la tubería, se combinan las ecuaciones [136] y [137] y se llega a la siguiente expresión [138]:

$$d = \sqrt{ (Q \cdot 4) / (v \cdot \pi) ) } \quad [138]$$

A partir de ahora se procederá al cálculo de los diámetros de tubería de las distintas partes de la planta de tratamiento.

### Alimentación

$$d = \sqrt{ (Q_F / 86400) \cdot 4) / (v \cdot \pi) ) }$$

$$d = \sqrt{ ((2301,6 / 86400) \cdot 4) / (1 \cdot \pi) ) } = 0,18 \text{ m} = 180 \text{ mm}$$

Según la norma UNE esto corresponde a una tubería de diámetro nominal 180 mm .

Alimentación combinada y salida al reactor.

$$d = \sqrt{((Q_o / 86400) \cdot 4) / (v \cdot \pi)}$$

$$d = \sqrt{((3365,63 / 86400) \cdot 4) / (1 \cdot \pi)} = 0,22 \text{ m} = 220 \text{ mm}$$

Según la norma UNE esto corresponde a una tubería de diámetro nominal 225 mm.

Salida del efluente.

$$d = \sqrt{((Q_e / 86400) \cdot 4) / (v \cdot \pi)}$$

$$d = \sqrt{((2266,22 / 86400) \cdot 4) / (1 \cdot \pi)} = 0,18 \text{ m} = 180 \text{ mm}$$

Según la norma UNE esto corresponde a una tubería de diámetro nominal 180 mm.

Descarga del clarificador.

$$d = \sqrt{((Q_u / 86400) \cdot 4) / (v \cdot \pi)}$$

$$d = \sqrt{((1099,41 / 86400) \cdot 4) / (1 \cdot \pi)} = 0,127 \text{ m} = 127 \text{ mm}$$

Según la norma UNE esto corresponde a una tubería de diámetro nominal 130 mm.



Purga.

$$d = \sqrt{((Q_W / 86400) \cdot 4) / (v \cdot \pi)}$$

$$d = \sqrt{((35,38 / 86400) \cdot 4) / (1 \cdot \pi)} = 0,026 \text{ m} = 26 \text{ mm}$$

Según la norma UNE esto corresponde a una tubería de diámetro nominal 32 mm.

Recirculación.

$$d = \sqrt{((Q_R / 86400) \cdot 4) / (v \cdot \pi)}$$

$$d = \sqrt{((1064,03 / 86400) \cdot 4) / (1 \cdot \pi)} = 0,125 \text{ m} = 125 \text{ mm}$$

Según la norma UNE esto corresponde a una tubería de diámetro nominal 125 mm.

### **ANEXO 3 ESTUDIO DE BOMBAS**

En este documento se va a intentar hacer un estudio de las distintas bombas que van a ser necesarias en la planta de tratamiento del agua residual.

#### **1. BOMBEO DESDE EL TANQUE DEL PRETRATAMIENTO HASTA EL TRATAMIENTO BIOLÓGICO.**

Los lodos activos son muy sensibles a las variaciones de caudal, por lo que se necesitará mantener un caudal constante en el reactor biológico a lo largo de un período más o menos largo de tiempo.

Se colocarán 2 bombas para tener la seguridad de que una ellas entrará en funcionamiento en el caso de que la otra sufra una avería.

Las bombas serán diseñadas para que proporcionen un caudal de 2301,6 m<sup>3</sup> / día (Caudal medio de diseño). Para dicho diseño habrá que calcular las pérdidas de carga que se dan en el sistema. Se tomará la ecuación [132] de Darcy – Weisbach.

$$h_f = f \cdot [(L + L_{eq}) / D] \cdot [v^2 / 2g] \quad [132]$$

donde:

$h_f$  = Pérdida de carga.

$f$  = Factor de fricción.

$L$  = Longitud de la tubería.

$L_{eq}$  = Longitud equivalente.

$D$  = Diámetro de la tubería.

$v$  = Velocidad.

$g$  = Aceleración de la gravedad.

Desde el pretratamiento hasta el reactor biológico existe un único tramo de tubería de 180 mm de diámetro, 8 m de longitud, 3 codos y el reactor biológico. La velocidad de circulación es de 1 m/s.

Para el cálculo del factor de fricción se necesitará por un lado el número de Reynolds ( $Re$ ), y por otro la rugosidad relativa.

En cuanto al número de Reynolds, su cálculo se realizará en base a la ecuación [133].

$$Re = v \cdot D \cdot \rho / \mu \quad [133]$$

donde:  $Re$  = Número de Reynolds.

$v$  = Velocidad de circulación del agua. (m / s)

$D$  = Diámetro de la tubería. (m)

$\rho$  = Densidad del agua a 15 °C. (Kg / m<sup>3</sup>)

$\mu$  = Viscosidad del agua a 15 °C (N·s / m<sup>2</sup>)

Para el cálculo de “ $\rho$ ” y “ $\mu$ ” se hará uso de la tabla 1 (Metcalf & Eddy, 1995).

Temperatura °C	Peso específico kN/m <sup>3</sup>	Densidad kg/m <sup>3</sup>	Módulo de elasticidad E/10 <sup>6</sup> kN/m <sup>2</sup>	Viscosidad dinámica $\mu \times 10^3$ N·s/m <sup>2</sup>	Viscosidad cinemática $\nu \times 10^6$ m <sup>2</sup> /s	Tensión superficial $\sigma$ N/m	Presión de vapor Pv kN/m <sup>2</sup>
0	9,805	999,8	1,98	1,781	1,785	0,0765	0,61
5	9,807	1000,0	2,05	1,518	1,519	0,0749	0,87
10	9,804	999,7	2,10	1,307	1,306	0,0742	1,23
15	9,798	<b>999,1</b>	2,15	<b>1,139</b>	1,139	0,0735	1,70
20	9,789	998,2	2,17	1,022	1,003	0,0728	2,34
25	9,777	997,0	2,22	0,890	0,893	0,0720	3,17
30	9,764	995,7	2,25	0,798	0,800	0,0712	4,24
40	9,730	992,2	2,28	0,653	0,658	0,0696	7,38
50	9,689	988,0	2,29	0,547	0,553	0,0679	12,33
60	9,642	983,2	2,28	0,466	0,474	0,0662	19,92
70	9,589	977,8	2,25	0,404	0,413	0,0644	31,16
80	9,530	971,8	2,20	0,354	0,364	0,0626	47,34
90	9,466	965,3	2,14	0,315	0,326	0,0608	70,10
100	9,399	958,4	2,07	0,282	0,294	0,0589	101,33

**Tabla 1. Propiedades físicas del agua.**

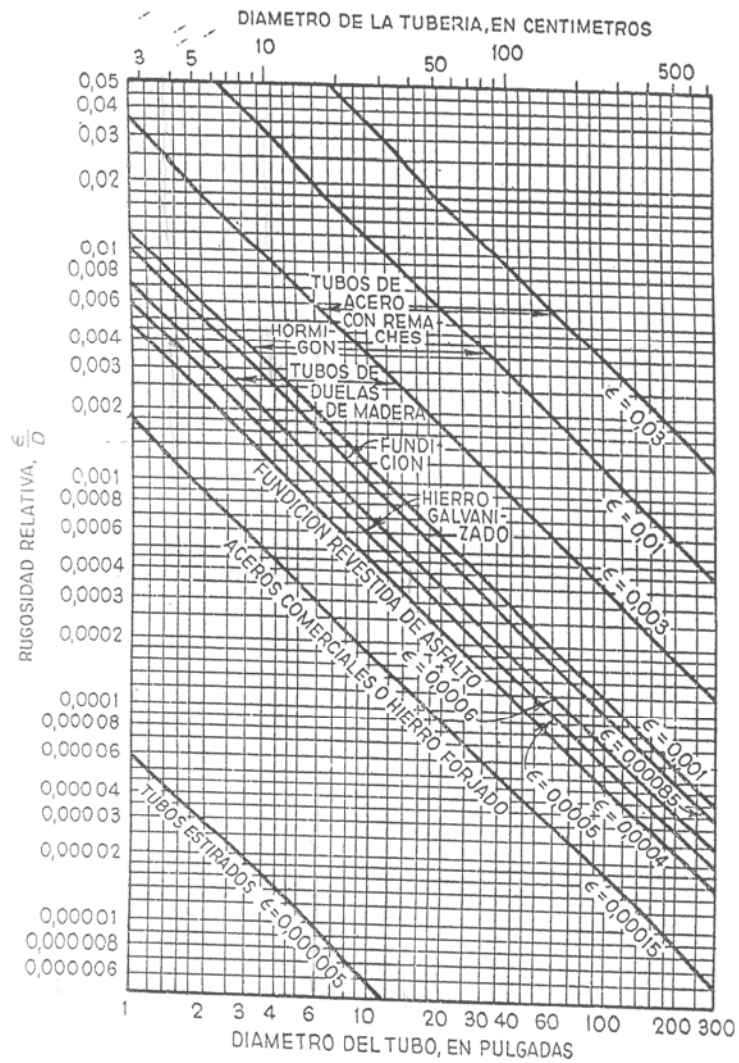
Por lo tanto, se tendrá que  $\rho = 999,1 \text{ Kg} / \text{m}^3$  y  $\mu = 1,139 \cdot 10^{-3} \text{ N}\cdot\text{s} / \text{m}^2$ .

Una vez conocidos todos los valores necesarios, se procederá a calcular el número de Reynolds:

$$R = 1 \text{ m/s} \cdot 0,18 \text{ m} \cdot 999,1 \text{ Kg} / \text{m}^3 / 1,139 \cdot 10^{-3} \text{ N}\cdot\text{s} / \text{m}^2.$$

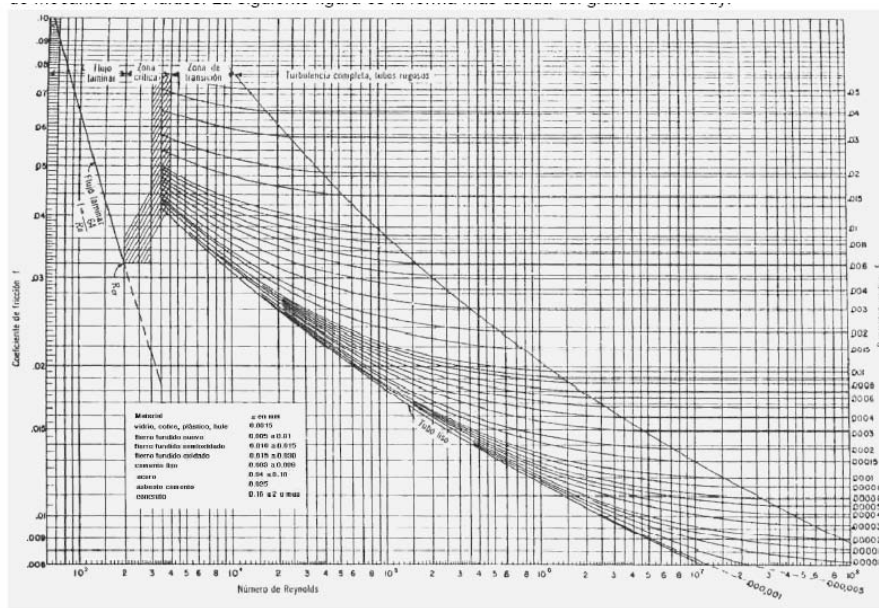
$$R = 157891,13 = 1,6 \cdot 10^5.$$

Por otro lado, la rugosidad relativa del acero comercial para una tubería de diámetro 18 cm es 0,0003, según la figura 1 (Metcalf & Eddy, 1995).



**Figura 1. Diámetro Vs Rugosidad relativa**

Una vez obtenida la rugosidad relativa y el Reynolds, se calculará el factor de fricción,  $f$  utilizando el diagrama de Moody (Figura 2).



**Figura 2. Gráfica de Moody.**

De esta manera  $f = 0,026$

Como se dijo anteriormente, en este tramo de la planta se dispondrán 3 codos abiertos de  $90^\circ$ . Si se hace uso de la figura 3 (Vián A, 1967) se puede observar que para una tubería de 180 mm (7 pulgadas), la longitud equivalente de cada codo es 3,25 m. Por lo tanto:

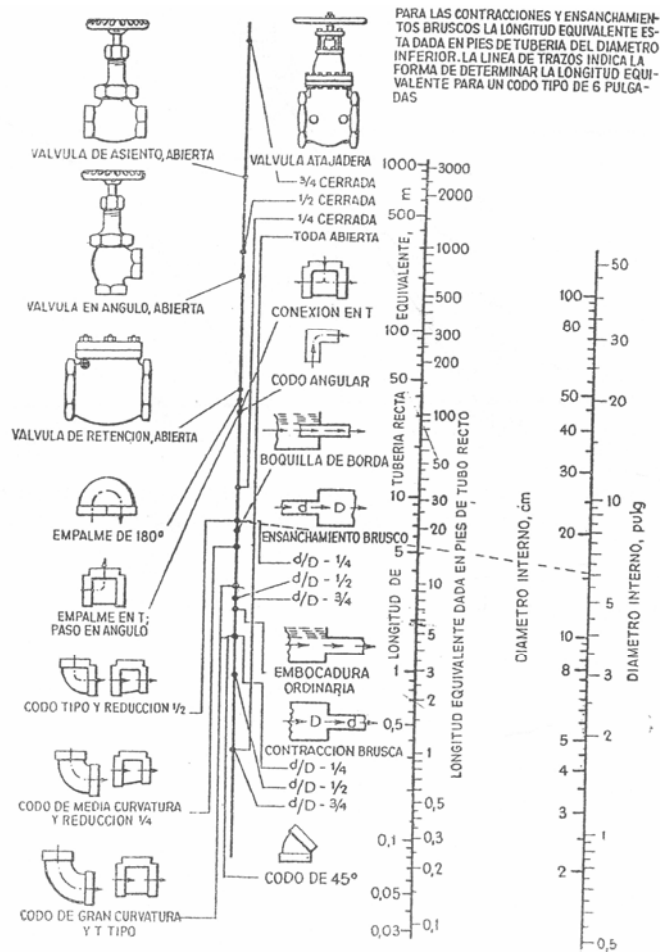


Figura 3 . Longitudes equivalentes de accidentes (Vián, 1967)

Aplicando la ecuación [132] se tendrá lo siguiente:

$$h_f = 0,026 \cdot [(8 + 3,25 \cdot 3) / 0,18] \cdot [1^2 / 2 \cdot 9,8]$$

$$h_f = 0,07 \text{ m}$$

Lo siguiente será aplicar la ecuación de Bernoulli:

$$v_2^2 / 2 - v_1^2 / 2 + g (z_2 - z_1) + h_f - W = 0 \quad [134]$$

donde:  $v_1$  = Velocidad del agua en el pretratamiento. (m / s)

$v_2$  = Velocidad de descarga en el reactor biológico. (1 m/s)

$z_2 - z_1$  = Diferencia de altura, profundidad de tanque (4 m)

por todo ello, sustituyendo los valores se obtiene:

$$1^2 / 2 - 0^2 / 2 + 9,8 \cdot (4) + 0,07 - W = 0$$

$$W = 39,77 \text{ J / Kg}$$

Por lo tanto la potencia mínima que tendrá que suministrar la bomba se calculará aplicando la ecuación [135]:

$$P = W \cdot Q \cdot \rho \quad [135]$$

$$P = 39,77 \text{ J / Kg} \cdot 2301,6 \text{ m}^3 / \text{ día} \cdot 1 \text{ día} / 86400 \text{ s} \cdot 999,1 \text{ Kg/ m}^3$$

$$P = 1058,74 \text{ W} \approx 1 \text{ Kw}$$

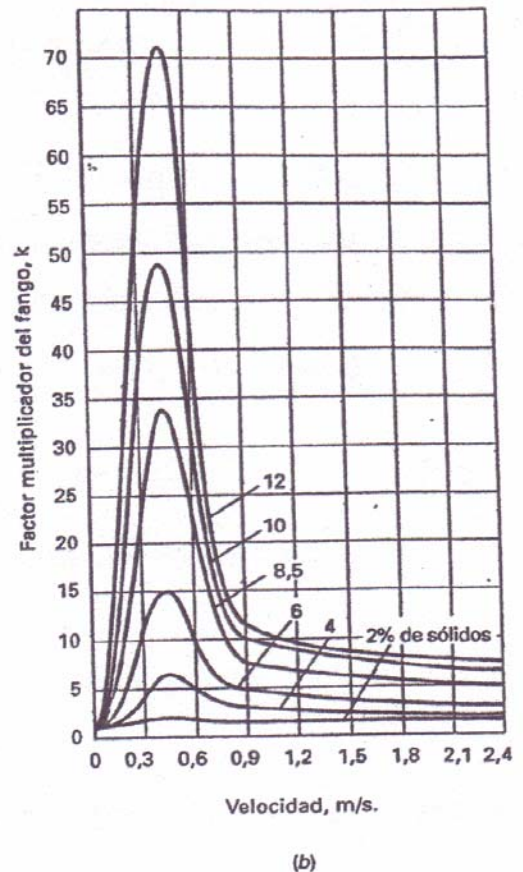
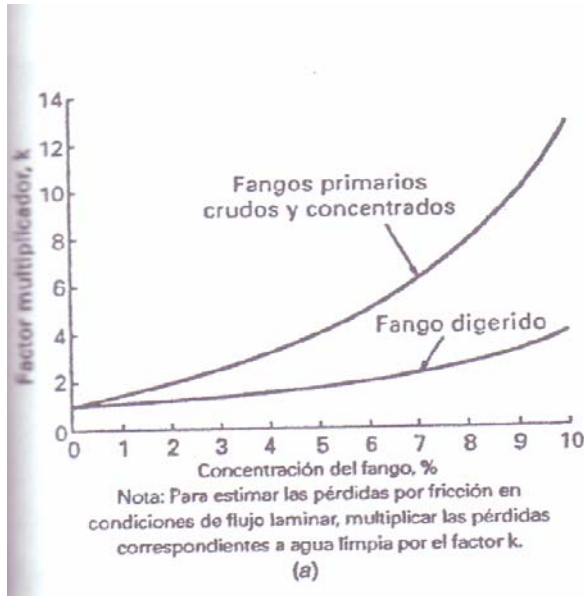
## **2. BOMBA DE RECIRCULACIÓN Y PURGA.**

Los lodos purgados y recirculados se recogen en el clarificador secundario. Se colocará una bomba de tornillo excéntrico por recomendación de la bibliografía (Hernández, 1996). La tubería que se colocará tendrá un diámetro de 125 mm y una longitud de 39 m.

Atendiendo a la bibliografía (Metcalf & Eddy, 1995), el diámetro por el cual debe circular un fango tiene que ser menor de 125 mm, mientras que el de la conexión de la bomba no debe ser menor de 100 mm.

Para conducir fangos a corta distancia se utilizan conducciones donde la pérdida de carga se calcula multiplicando la pérdida de carga producida con agua obtenida de la ecuación de Darcy- Weisbach, por el factor K. La obtención de "K" se tiene a partir de curvas empíricas para un contenido de sólidos y un tipo de fangos, como se indica en la figura 3 (Hernández Lehmann, 1997). Para hacer uso de esta gráfica se necesitan datos de velocidad, "v" (1 m / s) y el porcentaje en peso de sólidos (1,5 %)





**Figura 4. Factor multiplicador de la pérdida de carga, K.**

Por lo tanto, haciendo uso de la figura 4 a se obtiene un valor de  $k = 1$ .

La tubería elegida será de acero inoxidable AISI 304, de 125 mm de diámetro y de 39 m de longitud. Por tanto, haciendo uso de la gráfica de Moody (figura 2), la rugosidad relativa se calcula en torno a 0,00023. Con este dato y el número de Reynolds (Ecuación [133]), se calculará el valor de  $f$ :

$$Re = (1 \cdot 0,125 \cdot 999,1) / 1,139 \cdot 10^{-3}$$

$$Re = 109646,6 \approx 1,1 \cdot 10^5$$

De esta manera, haciendo uso de la gráfica de Moody, se llega a que  $f = 0,027$ . Y dado que  $K = 1$ ,  $f = K \cdot f = 0,027$

Por otro lado, la conducción tiene 3 codos abiertos de 90 ° y una válvula de bola. Conociendo que  $D = 125 \text{ mm} = 5 \text{ '}$ , se calcula la longitud equivalente de los codos como 2,2 m, y la de la válvula como 20 m. La pérdida de carga se calcula a partir de la ecuación [132]:

$$h_f = f \cdot [(L + L_{eq}) / D] \cdot [v^2 / 2g]$$

$$h_f = 0,027 \cdot [(39 + 20 + (3 \cdot 2,2)) / 0,125] \cdot [1^2 / 2 \cdot 9,8]$$

$$h_f = 0,72 \text{ m}$$

Por último, para calcular la potencia de la bomba, se utilizará la ecuación [134] de Bernoulli.

$$v_2^2 / 2 - v_1^2 / 2 + g (z_2 - z_1) + h_f - W = 0$$

donde:  $v_1 =$  Velocidad del agua en el pretratamiento (m / s).

$v_2 =$  Velocidad de descarga en el reactor biológico (1 m/s).

$z_2 - z_1 =$  Diferencia de altura, profundidad de tanque (1 m).

$$1^2 / 2 - 0^2 / 2 + 9,8 (1) + 0,72 - W = 0$$

$$W = 11,02 \text{ J / Kg}$$

Por lo tanto la potencia mínima que tendrá que suministrar la bomba se calculará a partir de la ecuación [135].

$$P = W \cdot Q \cdot \rho$$

$$P = 11,02 \text{ J / Kg} \cdot 1064,03 \text{ m}^3 / \text{ día} \cdot 1 \text{ día} / 86400 \text{ s} \cdot 999,1 \text{ Kg/m}^3$$

$$P = 135,59 \text{ W} \approx 0,135 \text{ Kw}$$

## **ANEXO 4 PROGRAMACIÓN DE LAS OBRAS**

### **1. INTRODUCCIÓN**

Para la determinación del plan de obra de la EDAR de Medina Sidonia, se procederá de la siguiente manera:

- Determinación de las actividades que integran el proyecto.
- Determinación de las interrelaciones de orden temporal existentes entre las distintas actividades.
- Determinación de la duración de cada una de estas actividades.
- Determinación del plan de obra.

### **2. DETERMINACIÓN DE LAS ACTIVIDADES**

Las actividades que se consideran en el proyecto son las siguientes:

- A. Replanteo de las obras.
- B. Construcción de la red de colectores de la EDAR.
- C. Construcción de la explanación de la EDAR.
- D. Construcción del local de explotación de la EDAR.
- E. Obra civil de la EDAR.
- F. Equipos de la EDAR.
- G. Acometida eléctrica e instalación de B.T. de la EDAR.
- H. Urbanización y cerramiento de la EDAR.
- I. Limpieza general y medidas correctoras de impacto ambiental.

### **3. DETERMINACIÓN DE LAS INTERRELACIONES ENTRE LAS DIFERENTES ACTIVIDADES.**

En este apartado se pretende determinar las interrelaciones existentes entre las diferentes actividades. Estas vienen determinadas por la necesidad de haber concluido unas para el comienzo en la ejecución de otras. De esta manera, las interrelaciones necesarias en este proyecto son:

- La actividad A precede a todas las demás.
- La actividad B, construcción de la red de colectores, precede a las siguientes, para poder medir los caudales que llegan y poder realizar las variaciones en el dimensionamiento de la planta que la Dirección considere oportunas.
- Las actividades D y E necesitan la finalización de la actividad C para comenzar ( La construcción del local de explotación y del resto de la obra civil necesitan la previa construcción de la explanación ).
- La actividad F (Instalación de los equipos) necesita la finalización de la actividad E (Obra civil).
- La actividad G es simultánea con la actividad F
- La actividad H (Urbanización y cerramiento) necesita la finalización de la actividad G.
- La actividad I (Limpieza) necesita la finalización de todas las demás actividades.

### **4. DETERMINACIÓN DE LA DURACIÓN DE LAS ACTIVIDADES.**

La determinación de la duración de las diferentes actividades es una tarea complicada, ya que cada obra es distinta a las demás. No obstante, la duración de éstas queda condicionada por estos tres factores:

- Equipo de maquinaria y humano puesto a disposición de la actividad.

- Características de volumen y complejidad de la ejecución de la actividad.
- Climatología (Epoca del año en la que se realice ).

Debido a esto, se ha definido para cada actividad una duración en semanas. En función de esto, las actividades antes enumeradas tendrán la siguiente duración:

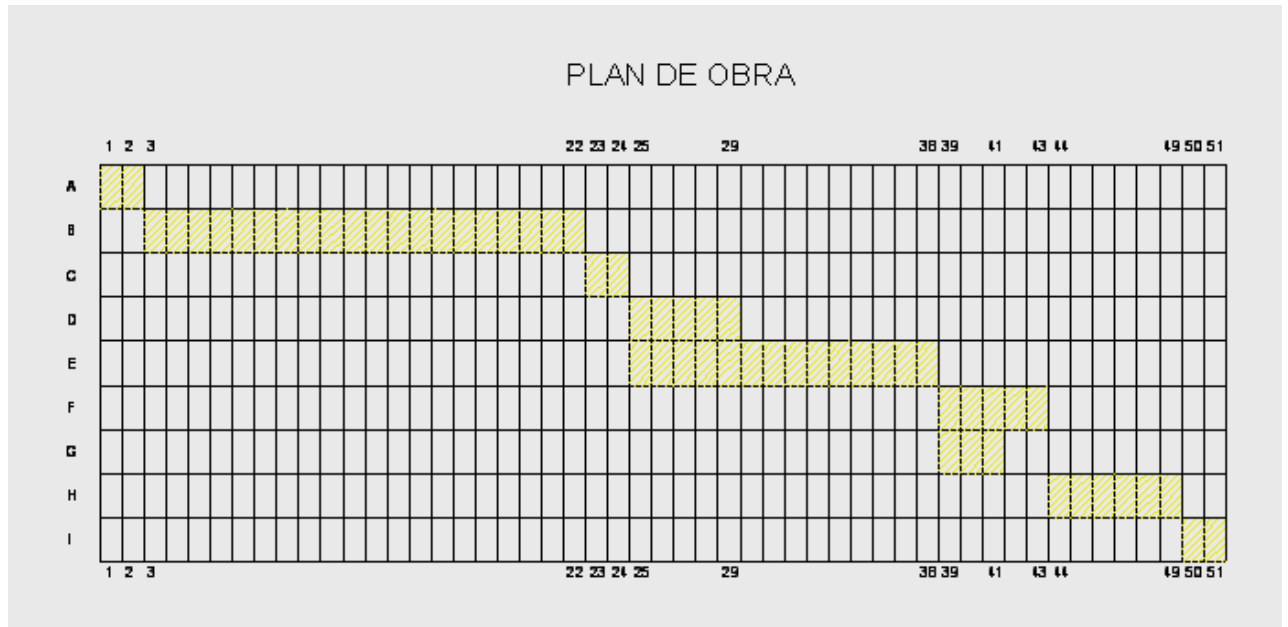
A. Replanteo de las obras.	2 SEMANAS
B. Construcción de colectores.	20 SEMANAS
C. Construcción de la explanación.	2 SEMANAS
D. Construcción del local de explotación.	8 SEMANAS
E. Obra civil.	14 SEMANAS
F. Equipos de la EDAR.	5 SEMANAS
G. Acometida eléctrica e instalación de B.T.	3 SEMANAS
H. Urbanización y cerramiento de la EDAR.	6 SEMANAS
I. Limpieza general y medidas correctoras.	2 SEMANAS

## **5. PLAN DE OBRA.**

Se acompaña como Plan de Obra, un diagrama de barras estructurado en actividades. Dicho Plan propone un modelo de organización y distribución en el tiempo de las obras a ejecutar y por tanto de las inversiones a realizar, estableciéndose por integración el plazo total de las Obras, que en este caso será de DOCE MESES (12).

Manteniendo el plazo total de las obras, que tendrá carácter contractual, y antes de iniciarse éstas, el Contratista adjudicatario propondrá a la Dirección Facultativa un nuevo Plan de Obra adaptado a sus medios y técnicas constructivas y a cuantas circunstancias crea oportuno tener en cuenta. El contratista modificará el Plan de Obra según las directrices que la marque el Director de Obra, que deberá dar su aprobación con carácter previo al inicio de los trabajos.

El Plan servirá de elemento de control sobre la ejecución de las obras. Al menos una vez al mes se verificará su cumplimiento, actualizándolo según proceda para no exceder el plazo de ejecución previsto. Al igual que al inicio, éstas actualizaciones deberán ser objeto de revisión y aprobación por parte del Director de Obra.



## ÍNDICE DEL PLIEGO DE CONDICIONES

1. PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES	1
1.1 Descripción de la Obra o Proyecto.	1
1.2 Pliego de Condiciones Generales Facultativas.	1
1.2.1 Obligaciones del Contratista.	1
1.2.2 Derechos del Contratista.	2
1.2.3 Facultades de la Dirección de Obra.	2
1.2.4 Libro de Órdenes y Visitas.	4
1.2.5 Replanteo y Programación de las Obras.	5
1.2.5.1 Inspección de las Obras.	5
1.2.5.2 Acta de Comprobación del Replanteo.	5
1.2.5.3 Modificaciones Acordadas Consecuencia de la Comprobación del Replanteo.	6
1.2.5.4 Programación de las Obras.	7
1.2.6 Control de Calidad y Ensayos.	7
1.2.7 Comienzo, Ritmo, Plazo y Condiciones Generales de Ejecución.	8
1.2.8 Partidas Alzadas.	8
1.2.9 Obras Defectuosas y modificaciones por Fuerza Mayor.	8
1.2.10 Recepción Provisional, Plazo de Garantía.	10
1.2.11 Recepción Definitiva.	12
1.3 Pliego de Condiciones Generales Económicas.	12
1.3.1 Fianza.	12
1.3.2 Ejecución de Trabajos con Cargo a la Fianza.	13
1.3.3 Devolución de la Fianza.	13
1.3.4 Composición de Precios Unitarios de Ejecución Material y de Ejecución por Contrata.	13

1.3.5	Precios Contradictorios.	15
1.3.6	Mejoras y Modificaciones de Obras, Instalaciones y Maquinaria.	15
1.3.7	Valoración, Medición y Abono de los Trabajos.	16
1.3.8	Seguros y Conservación de la Obra.	17
1.4	Pliego de Condiciones Legales.	18
1.4.1	Del Contratista.	18
1.4.2	Del Contrato.	19
1.4.3	De la Adjudicación.	19
1.4.4	Arbitraje y Jurisdicción.	20
1.4.5	Responsabilidades del Contratista.	21
1.4.6	Subcontratas.	22
1.4.7	Accidentes de Trabajo y Daños a Terceros.	24
1.4.8	Impuestos.	25
1.4.9	Causas de Rescisión del Contrato.	25
2.	PLIEGO DE CONDICIONES PARTICULARES.	28
2.1	Condiciones que deben cumplir los Materiales.	28
2.1.1	Procedencia de los Materiales.	28
2.1.2	Ensayos.	28
2.1.3	Almacenamiento.	29
2.1.4	Materiales para morteros y hormigones	29
2.1.4.1	Cementos.	29
2.1.4.2	Agua.	31
2.1.4.3	Áridos (Finos y Gruesos).	31
2.1.4.4	Acero para armaduras.	33
2.1.5	Hierros y aceros para elementos metálicos.	34
2.1.6	Cubrejunta de cloruro de polivinilo.	34



2.1.7	Madera.	35
2.1.8	Ladrillos.	35
2.1.9	Acero moldeado.	35
2.1.10	Aluminio.	36
2.1.11	Plomo.	36
2.1.12	Bronce.	36
2.1.13	Cobre.	36
2.1.14	Vidrio.	37
2.1.15	Polietileno.	37
2.1.16	Pinturas.	38
2.1.17	Esmaltes, cales y emulsiones de alquitrán para revestimiento de tubos.	39
2.1.18	Válvulas.	39
2.1.19	Materiales para instalaciones eléctricas.	40
2.1.19.1	Recepción de materiales eléctricos.	40
2.1.19.2	Conductores eléctricos.	40
2.1.19.3	Hilos y cables sencillos para instalaciones eléctricas.	41
2.1.19.4	Aislantes de conductores eléctricos.	41
2.1.19.5	Tubos para alojar conductores eléctricos.	41
2.1.19.6	Aparatos de alumbrado.	41
2.1.20	Materiales para tuberías y accesorios.	42
2.1.20.1	Condiciones generales.	42
2.1.20.2	Tuberías de hormigón armado.	42
2.1.20.3	Tuberías de fibrocemento.	42
2.1.20.4	Tuberías de acero.	43
2.1.20.5	Tubos de plomo.	43
2.1.20.6	Tubos de hormigón camisa de chapa	43
2.1.20.7	Tuberías de fundición.	44
2.1.20.8	Otros tipos de tuberías.	44
2.1.20.9	Piezas especiales para tuberías.	44

2.1.20.10	Herrajes y anclajes para fijación de tuberías.	44
2.2	Condiciones que deben cumplir las Unidades de Obra.	45
2.2.1	Condiciones generales de ejecución.	45
2.2.2	Desbroce del terreno.	45
2.2.3	Excavaciones y desmontes.	46
2.2.3.1	Excavación en roca y excavación normal.	46
2.2.3.2	Excavación en desmonte.	47
2.2.3.3	Excavación para emplazamiento y cimientos.	48
2.2.3.4	Excavación en zanja.	49
2.2.4	Terraplenes.	50
2.2.5.	Relleno de zanjas.	52
2.2.6.	Fábricas de hormigón hidráulico.	54
2.2.6.1	Tipos de hormigón.	54
2.2.6.2	Dosificación.	54
2.2.6.3	Fabricación del hormigón.	55
2.2.6.4	Transporte.	55
2.2.6.5	Colocación.	55
2.2.6.6	Curado.	56
2.2.6.7	Acabados y tolerancias.	56
2.2.6.8	Ensayo de los hormigones.	57
2.2.7	Encofrados.	59
2.2.8	Armaduras de acero para hormigones.	59
2.2.9	Tratamientos superficiales mediante riegos.	60
2.2.9.1	Preparación de la superficie existente.	60
2.2.9.2	Aplicación de ligante.	61
2.2.9.3	Extensión del árido.	61

2.2.10 Morteros.	62
2.2.11 Fábrica de ladrillo.	63
2.2.12 Enlucido.	63
2.2.13 Obras de albañilería	64
2.2.14 Otras fábricas y trabajos.	64
2.3 Condiciones que deben cumplir los Equipos.	64
2.3.1 Instalaciones de conducción de fluidos.	64
2.3.1.1 Tuberías y piezas para conducciones.	64
2.3.1.2 Transporte y manipulación.	64
2.3.1.3 Montajes.	66
2.3.1.4 Pruebas y ensayos.	67
2.3.2 Instalaciones eléctricas.	69
2.3.2.1 Conductores de las líneas eléctricas.	69
2.3.2.2 Interruptores.	70
2.3.2.3 Cuadros eléctricos.	70
2.3.2.4 Protección de los circuitos.	71
2.3.2.5 Tomas de tierra.	71
2.3.2.6 Instalaciones de alumbrado.	72
2.3.2.6.1 Distribución de puntos de luz.	72
2.3.2.6.2 Lámparas.	72
2.3.2.6.3 Balasto.	73
2.3.2.6.4 Condensador.	73
2.3.2.6.5 Fusible.	74
2.3.2.6.6 Tabla de conexiones.	74
2.3.2.6.7 Cimentación.	74
2.3.3 Especificaciones de los equipos.	74

## **1. PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES.**

### **1.1 Descripción de la Obra o Proyecto**

El presente Pliego de Prescripciones Técnicas, juntamente con lo dispuesto en la Ley de Contratos del estado y en los Reglamentos para su aplicación, así como en el Pliego de Cláusulas Administrativas Generales para la contratación de obras del Estado, regirá en la realización de las obras del Proyecto de depuración de las aguas residuales del término municipal de Medina Sidonia, en la provincia de Cádiz.

La finalidad de este Pliego de Condiciones es establecer, por parte del autor del Proyecto un conjunto de prescripciones de tipo técnico que deberá observar el futuro Contratista durante la ejecución de las obras correspondientes.

Este documento es contractual, es decir vinculante para el Contratista, y las prescripciones contenidas en este Pliego de Prescripciones, tienen el carácter de verdaderas cláusulas del Contrato.

### **1.2 Pliego de Condiciones Generales Facultativas.**

#### **1.2.1 Obligaciones del Contratista**

Se entiende como contratista la parte contratante obligada a ejecutar la obra. Cuando dos o más empresas presenten una oferta conjunta a la licitación de una obra quedarán obligadas solidariamente frente a la Administración y deberán cumplir lo dispuesto en los artículos 24 de la Ley de Contratos de las Administraciones Públicas y 24 del Reglamento General de la Ley de Contratos de las Administraciones Públicas.

El contratista está obligado al cumplimiento de las disposiciones vigentes en materia laboral, de seguridad social y de seguridad e higiene en el trabajo.

El contratista deberá constituir el órgano necesario con función específica de velar por el cumplimiento de las disposiciones vigentes sobre seguridad e higiene en el trabajo y designará el personal técnico de seguridad que asuma las obligaciones correspondientes en cada centro de trabajo.

El incumplimiento de estas obligaciones por parte del contratista, o la infracción de las disposiciones sobre seguridad por parte del personal técnico designado por él, no implicará responsabilidad alguna para la Administración contratante.

### **1.2.2 Derechos del Contratista.**

El contratista deberá tener un ejemplar completo del proyecto, así como recibir los suministros de la propiedad en forma y plazo.

El contratista deberá recibir solución de problemas técnicos no previstos con prontitud.

### **1.2.3 Facultades de la Dirección de Obra.**

El facultativo de la Administración Director de la obra es la persona, con titulación adecuada y suficiente, directamente responsable de la comprobación y vigilancia de la correcta realización de la obra contratada.

Para el desempeño de su función podrá contar con colaboradores a sus órdenes, que desarrollarán su labor en función de las atribuciones derivadas de sus títulos profesionales o de sus conocimientos específicos y que integrarán la “Dirección de la obra”.

El director designado será comunicado al contratista por la Administración antes de la fecha de comprobación del replanteo, y dicho director procederá de igual forma respecto de su personal colaborador. Las variaciones de uno u otro que acaezcan durante la ejecución de la obra serán puestas en conocimiento del contratista por escrito.

Las funciones del director de obras son, entre otras, las siguientes:

- Realizar la comprobación del replanteo.
- Informar el programa presentado por el contratista.
- Exigir al contratista, directamente o a través del personal a sus órdenes, el cumplimiento de las condiciones contractuales.
- Garantizar la ejecución de las Obras con estricta sujeción al proyecto aprobado, o modificaciones debidamente autorizadas, y al cumplimiento del programa de Trabajo.
- Definir aquellas condiciones técnicas que los Pliegos de condiciones técnicas dejan a decisión.
- Resolver todas las cuestiones técnicas que surjan en cuanto a interpretación de planos, condiciones de materiales y de ejecución de unidades de obras, siempre que no se modifiquen las condiciones del contrato.
- Estudiar las incidencias o problemas planteados en las obras que impidan el normal cumplimiento del contrato o aconsejen su modificación, tramitando, en su caso, las propuestas correspondientes.

- Proponer las actuaciones procedentes para obtener de los organismos oficiales y de los particulares, los permisos y autorizaciones necesarios para la ejecución de las obras y ocupación de los bienes afectados por ellas, y resolver los problemas planteados por los servicios y servidumbres relacionados con las mismas.
- Asumir personalmente y bajo su responsabilidad, en casos de emergencia o gravedad, la dirección inmediata de determinadas operaciones o trabajos en curso; para lo cual el contratista deberá poner a su disposición el personal y material de la obra.
- Acreditar al contratista las obras ejecutadas, conforme a lo dispuesto en los documentos del contrato.
- Participar en las recepciones de las obras y redactar la liquidación de las mismas conforme a las normas legales establecidas.

El objetivo de la Dirección es que la obra se realice según el proyecto aprobado y con la calidad, Plazo y Presupuesto estipulados.

Por su parte, el contratista estará obligado no sólo a cumplir las órdenes de la Dirección sino que deberá facilitar a ésta toda su labor de vigilancia y control de la Obra.

#### **1.2.4 Libro de Órdenes y Visitas.**

El “Libro de órdenes” será diligenciado previamente por el servicio a que esté adscrita la obra, se abrirá en la fecha de comprobación del replanteo y se cerrará en la de la recepción definitiva.

Durante dicho espacio de tiempo estará a disposición de la Dirección, que, cuando proceda, anotará en él las órdenes, instrucciones y comunicaciones que estime oportunas, autorizándolas con su firma.

El contratista estará también obligado a transcribir en dicho libro, por sí o por medio de su delegado, cuantas órdenes o instrucciones reciba por escrito de la Dirección y a firmar los efectos procedentes, el oportuno acuse de recibo, sin perjuicio de la necesidad de una posterior autorización de tales transcripciones por la Dirección, con su firma, en el libro indicado.

### **1.2.5 Replanteo y Preparación de las Obras.**

#### **1.2.5.1 Inspección de las Obras**

Incumbe a la Administración ejercer, de una manera continuada y directa, la inspección de la obra durante su ejecución, a través de la Dirección, sin perjuicio de que pueda confiar tales funciones, de un modo complementario, a cualquier otro de sus órganos y representantes.

El contratista o su delegado deberá acompañar en sus visitas inspectoras al Director o a las personas a que se refiere el párrafo anterior.

#### **1.2.5.2 Acta de Comprobación de Replanteo.**

El acta de comprobación del replanteo reflejará la conformidad o disconformidad del mismo respecto de los documentos contractuales del proyecto, con especial y expresa referencia a las características geométricas de la obra, a la autorización para la ocupación de los terrenos necesarios y a cualquier punto que pueda afectar al cumplimiento del contrato.



A la vista de sus resultados, se procederá en los términos del artículo 139 del Reglamento General de la Ley de Contratos de las Administraciones Públicas. Caso de que el contratista, sin formular reservas sobre la viabilidad del proyecto, hubiera hecho otras observaciones que puedan afectar a la ejecución de la obra, el Director, consideradas tales observaciones, decidirá iniciar o suspender el comienzo de la obra, justificándolo en la propia acta.

La presencia del contratista en el propio acto de comprobación del replanteo podrá suplirse por la de un representante debidamente autorizado, quién asimismo suscribirá el acta correspondiente. Un ejemplar del acta se remitirá a la Administración, otro se entregará al contratista y un tercero a la Dirección.

Serán de cuenta del contratista los gastos de los materiales, los del propio personal y los de los representantes de la Administración que sean necesarios para realizar la comprobación del replanteo, debiendo hacer efectivos los últimos en la forma, plazos y cuantía que regulen las disposiciones vigentes y que se señalen en el pliego de cláusulas particulares de la obra de que se trate.

### **1.2.5.3 Modificaciones acordadas consecuencia de la Comprobación del replanteo.**

Si como consecuencia de la comprobación del replanteo se deduce la necesidad de introducir en el proyecto alguna modificación, el Director redactará en el plazo de quince días, y sin perjuicio de la remisión inmediata del acta, una estimación razonada del importe de aquellas modificaciones.

Si la Administración decide la modificación del proyecto, se procederá a redactar las modificaciones precisas para su viabilidad, acordando la suspensión temporal, total o parcial de la obra y ordenando en éste último caso la iniciación de los trabajos en aquellas partes no afectadas por las modificaciones previstas en el proyecto. Una vez aprobado el proyecto modificado, con arreglo a lo dispuesto, será el vigente a los efectos del contrato.

#### **1.2.5.4 Programación de las Obras.**

El programa de trabajo a presentar por el contratista deberá incluir los siguientes datos:

- Ordenación en partes o clases de obra de las unidades que integran el proyecto, con expresión del volumen de éstas.
- Determinación de los medios necesarios, tales como personal, instalaciones, equipo y materiales, con expresión de sus rendimientos medios.
- Estimación en días calendario de los plazos de ejecución de las diversas obras u operaciones preparatorias, equipo e instalaciones y de los de ejecución de las diversas partes o clases de la obra.
- Valoración mensual y acumulada de la obra programada, sobre la base de las obras u operaciones preparatorias, equipo e instalaciones o partes o clases de obra a precios unitarios.
- Gráficos de las diversas actividades o trabajos.

#### **1.2.6 Control de Calidad y Ensayos.**

Se respetará todo lo dispuesto en el Plan de Control de Calidad.

Antes de iniciarse las obras, el Contratista presentará a la Dirección de Obra un Plan de Autocontrol de Calidad de las diferentes unidades de obra y materiales, para su aprobación. Así mismo el Contratista propondrá tres laboratorios homologados para la realización de dicha campaña, de los cuales la Dirección de Obra podrá, no obstante, designar un laboratorio homologado, si desestima los propuestos.

#### **1.2.7 Comienzo, Ritmo, Plazos y Condiciones generales de Ejecución.**

La programación de las obras se indicará en el diagrama de barras que aparece en el anexo 4

#### **1.2.8 Partidas Alzadas.**

Se entiende por Partida Alzada aquella partida del presupuesto que el proyectista en su momento no pudo medir o valorar pero que sabía que aparecerían en la ejecución de la obra.

Será de aplicación lo dispuesto en la cláusula 52 del Pliego de Cláusulas Administrativas Generales para la contratación de obras del Estado, aprobado por el Decreto 3854 / 1970 del 31 de Diciembre.

#### **1.2.9 Obras Defectuosas y Modificaciones por Fuerza Mayor.**

Hasta que tenga lugar la recepción definitiva, el contratista responderá de la ejecución de la obra contratada y de las faltas que en ella hubiese, sin que sea eximente ni le de derecho alguno la circunstancia de que los representantes de la Administración hayan examinado o reconocido, durante su construcción, las partes o unidades de obra o los materiales empleados, ni que hayan sido incluidos éstos y aquéllas en las mediciones o certificaciones parciales.

El contratista quedará exento de responsabilidad cuando la obra defectuosa o mal ejecutada sea consecuencia directa e inmediata de una orden de la Administración o de vicios del proyecto, salvo que éste haya sido redactado por el contratista al concurso correspondiente en la forma establecida por el artículo 124 de la Ley de Contratos de las Administraciones Públicas.

*Demolición y reconstrucción de las obras defectuosas o mal ejecutadas y sus gastos.*

Si se advierten vicios o defectos en la construcción o se tienen razones fundadas para creer que existen ocultos en la obra ejecutada, la Dirección ordenará, durante el curso de la ejecución, siempre antes de la recepción definitiva, la demolición y reconstrucción de las unidades de obra en que se den aquellas circunstancias o las acciones precisas para comprobar la existencia de tales defectos ocultos.

Si la Dirección ordena la demolición y reconstrucción por advertir vicios o defectos patentes en la construcción, los gastos de esas operaciones serán de cuenta del contratista, con derecho de éste a reclamar ante la Administración contratante en el plazo de diez días, contados a partir de la notificación escrita de la Dirección.

En el caso de ordenarse la demolición y reconstrucción de unidades de obra por creer existentes en ellas vicios o defectos ocultos, los gastos incumbirán también al contratista, si resulta comprobada la existencia real de aquellos vicios o defectos; caso contrario correrán a cargo de la Administración.

Si la Dirección estima que las unidades de obra defectuosas y que no cumplen estrictamente las condiciones del contrato son, sin embargo admisibles, puede proponer a la Administración contratante la aceptación de las mismas, con la consiguiente rebaja de los precios. El contratista queda obligado a aceptar los precios rebajados fijados por la Administración, a no ser que prefiera demoler y reconstruir las unidades defectuosas por su cuenta y con arreglo a las condiciones del contrato.

#### **1.2.10 Recepción Provisional, Plazo de Garantía.**

El plazo de ejecución de la totalidad de las obras de este proyecto será el que se fije en el Contrato, empezando a contar a partir del día siguiente al levantamiento de Acta de Replanteo. Dicho plazo de ejecución incluye el montaje de las instalaciones precisas para la realización de todos los trabajos. Los plazos parciales ajustados al programa de trabajos tienen también la consideración de oficiales y por tanto obligan contractualmente.

El plazo de garantía será de un 1 año y durante el mismo el Contratista procederá a la conservación de la obra, con arreglo a lo dispuesto en el Pliego de Condiciones Generales Facultativas y según las instrucciones que reciban de la Dirección de Obra, siempre de forma que tales trabajos no obstaculicen el uso público o servicios correspondientes a la obra. El Contratista responderá de los daños o deterioros que puedan producirse en la obra durante el plazo de garantía, a no ser que pruebe que los mismos han sido ocasionados por el mal uso que de aquella hubiera hecho la entidad encargada de la explotación y no al incumplimiento de sus obligaciones de vigilancia y policía de la obra.

En dicho supuesto tendrá derecho a que le sea reembolsado el importe de los trabajos que deban realizarse para restablecer, en la obra las condiciones debidas, pero no quedará exento de la obligación de llevar a cabo los citados trabajos.

Una vez terminados los trabajos de ejecución de las obras, se procederá a realizar su limpieza final. Todas las instalaciones, caminos provinciales, depósitos o edificios construidos con carácter temporal, deberán ser removidos, quedando los lugares de su emplazamiento restaurados a su forma original. Todo ello se efectuará de forma que las zonas afectadas queden completamente limpias y en condiciones estéticas, acorde con el paisaje circundante.

La limpieza final y retirada de instalaciones, se considerarán incluidas en el contrato y por tanto su realización no será objeto de abono directo. No se considerará que la obra está terminada hasta que no se cumplan las condiciones anteriormente expuestas.

Terminado el plazo de ejecución de las obras se procederá, por la Dirección de Obra al reconocimiento de las mismas, levantando acta del resultado de dicho reconocimiento, que firmará el Director de Obra, un representante de la Propiedad y el Contratista. Si de dicho examen se deduce que la obra está terminada, así se hará constar en el Acta, dándose por recibida provisionalmente y empezando a contar el plazo de garantía. Si no estuviesen terminadas, se detallará en el acto lo que falte y se fijará un nuevo plazo para terminarlas, aplicándose las sanciones que se hayan previsto en el Contrato en función de retraso producido.

Una vez finalizado el nuevo plazo se procederá de igual forma, y si tampoco esta vez estuviesen terminadas las obras, la Propiedad podrá optar por conceder un nuevo plazo o declarar rescindido el Contrato, con pérdida de la fianza, por parte de Contratista, sin más derecho que el cobro de la parte ejecutada que sea de recibo con arreglo a condiciones.

### **1.2.11 Recepción Definitiva.**

Una vez finalizado el plazo de garantía se procederá al reconocimiento de las obras, en forma análoga a la de recepción provisional, levantando las actas que sean necesarias y recibiendo las obras definitivamente cuando el reconocimiento práctico se deduzca que se hallan en perfecto estado de conservación.

## **1.3 Pliego de Condiciones Generales Económicas.**

### **1.3.1 Fianza.**

Cuando no haya peligro de que los materiales recibidos como útiles y almacenados en la obra o en los almacenes autorizados para su acopio sufran deterioro o desaparezcan, se podrá abonar al contratista hasta el 75% de su valor, teniendo en cuenta este adelanto para deducirlo más tarde del importe total de las unidades de obra en que queden incluidos tales materiales.

Para realizar dicho abono será necesaria la constitución previa del correspondiente aval, de acuerdo con lo establecido en el Reglamento General de Contratación,

Podrán concederse abonos a cuenta, con las garantías previstas en el artículo 143 del Reglamento General de Contratación, por razón del equipo y de las instalaciones necesarias para la ejecución de la obra, si son propiedad del contratista, se hayan en disposición de ser utilizados y dicha utilización ha de tener lugar en plazo inmediato de acuerdo con el programa de trabajo.

Los abonos a cuenta por instalaciones y equipo serán fijados, discrecionalmente, por el Director con las limitaciones que aparecen en el Pliego de Cláusulas Administrativas Generales para la contratación de obras del Estado.

### **1.3.2 Ejecución de Trabajos con cargo a la Fianza.**

Con cargo a estas cantidades se aplican penalizaciones que hubiesen tenido lugar por demoras, posibles reparaciones que debe abonar la propiedad con cargo a la contrata o el abandono de la Obra por parte del Contratista.

#### **Penalizaciones por demoras**

Remitirse a lo indicado en el apartado 1.2.10

### **1.3.3 Devolución de la Fianza.**

Una vez recibida definitivamente la obra y redactada y conformada la liquidación con saldo a favor de Contratante, se pagará y se devolverá la fianza en la forma y plazo que se determine en el Contrato. En el caso de que el saldo de la liquidación resultase en contra de Contratista, responderá la fianza por esta causa, y si con ello no bastase, el Contratista se comprometerá a saldar la diferencia.

### **1.3.4 Composición de Precios Unitarios de Ejecución Material y de Ejecución por Contrata.**

Se denominan precios 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.

Los precios de ejecución por contrata son el resultado de incrementar al presupuesto de ejecución material los tipos de Gastos generales, Beneficio industrial e Impuesto valor añadido.



Todos los trabajos, medios auxiliares y materiales que sean necesarios para la correcta ejecución y acabado de cualquier Unidad de Obra se considerarán incluidos en el precio de la misma aunque no figuren todos ellos especificados en la descomposición o descripción de los precios. Todos los gastos que por su concepto sean asimilables a costes indirectos se considerarán siempre incluidos en los precios de las Unidades de Obra del proyecto, cuando no figuren en el presupuesto valorados como Unidades de Obra.

### **Relaciones valoradas**

La Dirección, tomando como base las mediciones de las Unidades de Obra ejecutada a que se refieren los artículos anteriores y los precios contratados, redactará mensualmente la correspondiente relación valorada al origen.

No podrá omitirse la redacción de dicha relación valorada mensualmente por el hecho de que en algún mes, la obra realizada haya sido de pequeño volumen o incluso nada, a menos que la propiedad hubiese acordado la suspensión de la obra. La obra ejecutada se valorará a los precios de ejecución material que figuren, en letra, en el Cuadro de Precios unitarios del proyecto, para cada Unidad de Obra y a los precios de las nuevas Unidades de Obra no previstas en el contrato, que hayan sido debidamente autorizadas y teniendo en cuenta lo prevenido en el presente Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, para abono de obras defectuosas, materiales acopiados y partidas alzadas.

Al resultado de la valoración obtenido en la forma expresada en el párrafo anterior, se le aumentarán los porcentajes adoptados para formar el presupuesto de contrata y la cifra que resulte se multiplicará por el coeficiente de adjudicación, obteniendo así la relación valorada mensual.

### **1.3.5 Precios Contradictorios.**

Cuando se juzgue necesario emplear materiales o ejecutar unidades de obra que no figuren en el presupuesto del proyecto base del contrato, la propuesta del Director sobre los nuevos precios a fijar se basará en cuanto resulte de aplicación, en los costes elementales fijados en la descomposición de los precios unitarios integrados en el contrato y, en cualquier caso, en los costes que correspondiesen a la fecha en que tuvo lugar la licitación del mismo.

Los nuevos precios, una vez aprobados por la Administración, se considerarán incorporados a todos los efectos a los cuadros de precios del proyecto que sirvió de base para el contrato, sin perjuicio de lo establecido en el artículo ciento cincuenta y ocho (158) del Reglamento General de la Ley de Contratos de las Administraciones Públicas.

### **1.3.6 Mejoras y Modificaciones de Obras, Instalaciones y Maquinaria.**

Si se advierten vicios o defectos en la construcción o se tienen razones fundadas para creer que existen ocultos en la obra ejecutada, la Dirección ordenará, durante el curso de la ejecución, siempre antes de la recepción definitiva, la demolición y reconstrucción de las unidades de obra en que se den aquéllas circunstancias o las acciones precisas para comprobar la existencia de tales defectos ocultos.

Si la Dirección ordena la demolición y reconstrucción por advertir vicios o defectos patentes en la construcción, los gastos de esas operaciones serán de cuenta del contratista, con derecho de éste a reclamar ante la Administración contratante en el plazo de diez días, contados a partir de la notificación escrita de la Dirección.

En el caso de ordenarse la demolición y reconstrucción de unidades de obra por creer existentes en ellas vicios o defectos ocultos, los gastos incumbirán también al contratista, si resulta comprobada la existencia real de aquellos vicios o defectos; caso contrario correrán a cargo de la Administración.

Si ante unidades de obra defectuosas y que no cumplen estrictamente las condiciones del contrato, la Dirección las estima sin embargo, admisibles; puede proponer a la Administración contratante la aceptación de las mismas, con la consiguiente rebaja de los precios. El contratista queda obligado a aceptar los precios rebajados fijados por la Administración, a no ser que prefiera demoler y reconstruir las unidades defectuosas por su cuenta y con arreglo a las condiciones del contrato

### **1.3.7 Valoración, Medición y Abono de los Trabajos.**

#### *Medición de la obra ejecutada.*

La Dirección realizará mensualmente la medición de las Unidades de Obra ejecutadas durante el periodo de tiempo anterior. El Contratista o su delegado podrán presenciar la realización de tales mediciones. Para las obras o partes de las obras cuyas dimensiones y características hayan de quedar posterior y definitivamente ocultas, el Contratista está obligado a avisar a la Dirección de Obra con suficiente antelación, a fin de que ésta pueda realizar las correspondientes mediciones y toma de datos, levantando los planos que la definan, cuya conformidad suscribirán el Contratista o su delegado. A falta de previo aviso anticipado, cuya existencia corresponde probar al Contratista, queda éste obligado a aceptar las decisiones de la Administración sobre el particular.

#### *Relaciones valoradas.*

La Dirección, tomando como base las mediciones de las Unidades de Obra ejecutada a que se refieren los artículos anteriores y los precios contratados, redactará mensualmente la correspondiente relación valorada al origen.

No podrá omitirse la redacción de dicha relación valorada mensualmente por el hecho de que en algún mes, la obra realizada haya sido de pequeño volumen o incluso nada, a menos que la propiedad hubiese acordado la suspensión de la obra. La obra ejecutada se valorará a los precios de ejecución material que figuren, en letra, en el Cuadro de Precios unitarios del proyecto, para cada Unidad de Obra y a los precios de las nuevas Unidades de Obra no previstas en el contrato, que hayan sido debidamente autorizadas y teniendo en cuenta lo prevenido en el presente Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, para abono de obras defectuosas, materiales acopiados y partidas alzadas.

Al resultado de la valoración obtenido en la forma expresada en el párrafo anterior, se le aumentarán los porcentajes adoptados para formar el presupuesto de contrata y la cifra que resulte se multiplicará por el coeficiente de adjudicación, obteniendo así la relación valorada mensual

#### **1.3.8 Seguros y Conservación de la Obra.**

El contratista está obligado no sólo a la ejecución de la obra, sino también a su conservación hasta la recepción definitiva. La responsabilidad del contratista, por faltas que en la obra puedan advertirse, se extiende al supuesto de que tales faltas se deban exclusivamente a una indebida o defectuosa conservación de las unidades de obra, aunque éstas hayan sido examinadas y encontradas conforme por la Dirección, inmediatamente después de su construcción o en cualquier otro momento dentro del periodo de vigencia del contrato.

## **1.4 Pliego de Condiciones Legales.**

La obra es competencia de la Junta de Andalucía, pero de forma supletoria y ante la ausencia de una norma que recoja el Pliego de Condiciones Legales para la contratación de obras de la Junta de Andalucía, a la obra le es de aplicación el Pliego de Condiciones Legales para la Contratación de obras del Estado aprobado por el Decreto 3854/1970.

### **1.4.1 Del contratista**

Se entiende por "Contratista" la parte contratante obligada a ejecutar la obra. Cuando dos o más empresas presenten una oferta conjunta a la licitación de una obra quedarán obligadas solidariamente frente a la Administración y deberán cumplir lo dispuesto en los artículos 23 y 24 del Reglamento General de Contratación.

Se entiende por "Delegado de obra del contratista" (en lo sucesivo "Delegado") la persona designada expresamente por el contratista y aceptada por la Administración con capacidad suficiente para:

Ostentar la representación del contratista cuando sea necesaria su actuación o presencia, según el Reglamento General de Contratación y los pliegos de cláusulas, así como en otros actos derivados del cumplimiento de las obligaciones contractuales, siempre en orden a la ejecución y buena marcha de las obras.

Organizar la ejecución de la obra e interpretar y poner en práctica las órdenes recibidas de la Dirección.

Proponer a ésta a colaborar con ella en la resolución de los problemas que se planteen durante la ejecución.

La Administración, cuando por la complejidad y volumen de la obra así haya sido establecido en el pliego de cláusulas administrativas particulares, podrá exigir que el Delegado tenga la titulación profesional adecuada a la naturaleza de las obras y que el contratista designe además el personal facultativo necesario bajo la dependencia de aquél.

La Administración podrá recabar del contratista la designación de un nuevo Delegado y, en su caso, de cualquier facultativo que de él dependa cuando así lo justifique la marcha de los trabajos.

#### **1.4.2 Del contrato**

El contrato de obras del Estado se regirá peculiarmente por la Ley y Reglamento General de Contratos del Estado, por las prescripciones del correspondiente pliego de cláusulas administrativas particulares y, en lo que no resulte válidamente modificado por éste, por el presente Pliego.

El desconocimiento del contrato en cualquiera de sus términos, de los documentos anejos que forman parte del mismo o de las instrucciones, pliegos o normas de toda índole promulgados por la Administración que puedan tener aplicación a la ejecución de lo pactado no eximirá al contratista de la obligación de su cumplimiento.

#### **1.4.3 De la adjudicación.**

La mesa de contratación estará constituida por un presidente, un mínimo de cuatro vocales y un secretario designados por el órgano de contratación, el último entre funcionarios del mismo o, en su defecto, entre el personal a su servicio. Entre los vocales deberán figurar necesariamente un funcionario de entre quienes tengan atribuido legal o reglamentariamente el asesoramiento jurídico del órgano de contratación y un Interventor.

La documentación para las licitaciones se presentará en sobres cerrados, identificados, en su exterior, con indicación de la licitación a la que concurren y firmados por el licitador o la persona que lo represente e indicación del nombre y apellidos o razón social de la empresa. En el interior de cada sobre se hará constar en hoja independiente su contenido, enunciado numéricamente. Uno de los sobres contendrá los documentos a que se refiere el artículo 79.2 de la Ley y el otro la proposición, ajustada al modelo que figure en el pliego de cláusulas administrativas particulares, conteniendo, en los concursos, todos los elementos que la integran, incluidos los aspectos técnicos de la misma.

Determinada por la mesa de contratación la proposición de precio más bajo o económicamente más ventajosa, a favor de la cual formulará propuesta de adjudicación, invitará a los licitadores asistentes a que expongan cuantas observaciones o reservas estimen oportunas contra el acto celebrado, las cuales deberán formularse por escrito en el plazo máximo de dos días hábiles siguientes al de aquel acto y se dirigirán al órgano de contratación, el cual, previo informe de la mesa de contratación, resolverá el procedimiento, con pronunciamiento expreso sobre las reclamaciones presentadas, en la adjudicación del contrato.

#### **1.4.4 Arbitraje y Jurisdicción**

El arbitraje voluntario de las controversias surgidas en el desarrollo de la obra estará sometido a lo establecido en la Ley 60/2003, de 23 de Diciembre, de Arbitraje.

En el caso de que las controversias se sustancien por la vía judicial, la jurisdicción competente será la Contencioso-Administrativa.

#### **1.4.5. Responsabilidades del Contratista.**

El contratista está obligado al cumplimiento de las disposiciones vigentes en materia laboral, de seguridad social y de seguridad e higiene en el trabajo.

El contratista deberá constituir el órgano necesario con función específica de velar por el cumplimiento de las disposiciones vigentes sobre seguridad e higiene en el trabajo y designará el personal técnico de seguridad que asuma las obligaciones correspondientes en cada centro de trabajo.

El incumplimiento de estas obligaciones por parte del contratista, o la infracción de las disposiciones sobre seguridad por parte del personal técnico designado por él, no implicará responsabilidad alguna para la Administración contratante.

El contratista estará obligado a satisfacer los gastos de anuncio de licitación y de formalización del contrato, las tasas por prestación de los trabajos facultativos de replanteo, dirección, inspección y liquidación de las obras y cualesquiera otras que resulten de aplicación según las disposiciones vigentes, en la forma y cuantía que éstas señalen.

El contratista, para utilizar materiales, suministros, procedimientos y equipo para la ejecución de la obra deberá obtener las cesiones, permisos y autorizaciones necesarios de los titulares de las patentes, modelos y marcas de fábrica correspondientes, corriendo de su cuenta el pago de los derechos e indemnizaciones por tales conceptos.

El contratista será responsable de toda reclamación relativa a la propiedad industrial y comercial de los materiales, suministros, procedimientos y equipo utilizados en la obra, y deberá indemnizar a la Administración todos los daños y perjuicios que para la misma puedan derivarse de la interposición de reclamaciones, incluidos los gastos derivados de las que, eventualmente puedan dirigirse contra el Estado.



El contratista está obligado a mantener provisionalmente durante la ejecución de la obra y a reponer a su finalización todas aquellas servidumbres que se relacionen en el pliego de prescripciones técnicas particulares del proyecto base del contrato.

Tal relación podrá ser rectificada como consecuencia de la comprobación del replanteo o de necesidades surgidas durante su ejecución.

Son de cuenta del contratista los trabajos necesarios para el mantenimiento y reposición de tales servidumbres.

También tendrá que reponer aquellas servidumbres existentes con anterioridad al contrato que pudieran haberse omitido en la referida relación, si bien en este caso tendrá derecho a que se le abonen los gastos correspondientes.

Incumbe a la Administración promover las actuaciones precisas para legalizar las modificaciones que se deban introducir en las servidumbres que sean consecuencia de concesiones administrativas existentes antes de comenzar la obra. En este caso, la imputación de los gastos de tales modificaciones se regirá exclusivamente por los términos de la propia concesión aceptada, por las legislaciones específicas de tales concesiones o por la Ley de Expropiación Forzosa, en su caso.

Además, el contratista tendrá derecho a ser indemnizado por la Administración en los casos y forma que determina y establece en el Reglamento General de Contratación, si bien en el expediente deberá acreditar que, previamente al suceso, había tomado las medidas y precauciones razonables para prevenir y evitar, en lo posible, que las unidades de obra ejecutadas y los materiales acopiados en la obra pudieran sufrir daños por eventos de la naturaleza.

En la valoración de los daños causados se tendrá en cuenta la adopción de las medidas y precauciones razonables por parte del contratista, a fin de segregarse de aquélla los daños que se hubiesen podido evitar, de haberse tomado las medidas oportunas previas o inmediatamente después de acaecer el hecho causa de los daños.

#### **1.4.6 Subcontratas.**

Salvo que el contrato disponga lo contrario o que por su naturaleza y condiciones se deduzca que ha de ser ejecutado directamente por el adjudicatario, podrá éste concertar con terceros la realización parcial del mismo.

Los subcontratos se someten al cumplimiento de los siguientes requisitos:

- .
- Que en todo caso se dé conocimiento por escrito a la Administración del subcontrato a celebrar, con indicación de las partes del contrato a realizar por el subcontratista.
- Que las prestaciones parciales que el adjudicatario subcontrate con terceros no excedan del porcentaje que, superior al 50 % del importe de adjudicación, se fije en el pliego de cláusulas administrativas particulares. En el supuesto de que tal previsión no figure en el pliego, el contratista podrá subcontratar hasta un porcentaje que no exceda del indicado 50 % del importe de adjudicación.
- Que el contratista se obligue a abonar a los subcontratistas y suministradores el pago del precio pactado con unos y otros en los plazos y condiciones que no sean más desfavorables que los establecidos para las relaciones entre Administración y contratista.

- Los subcontratistas quedarán obligados sólo ante el contratista principal que asumirá, por tanto, la total responsabilidad de la ejecución del contrato frente a la Administración, con arreglo estricto a los pliegos de cláusulas administrativas particulares y a los términos del contrato.

En ningún caso podrá concertarse por el contratista la ejecución parcial del contrato con personas inhabilitadas para contratar de acuerdo con el ordenamiento jurídico.

El contratista deberá abonar las facturas en el plazo fijado de conformidad con el artículo 4 de la Ley por la que se establecen medidas de lucha contra la morosidad en las operaciones comerciales. En caso de demora en el pago, el subcontratista o el suministrador tendrá derecho al cobro de los intereses de demora y la indemnización por los costes de cobro en los términos previstos en la misma Ley.

Cuando el plazo de pago se convenga más allá de sesenta días, dicho pago se instrumentará mediante un documento que lleve aparejada la acción cambiaria; y cuando el plazo de pago supere los ciento veinte días, podrá además exigirse por el subcontratista o suministrador que dicho pago se garantice mediante aval.

Estos subcontratos y los contratos de suministros tendrán en todo caso naturaleza privada.

#### **1.4.7 Accidentes de Trabajo y Daños a Terceros.**

Será obligación del contratista indemnizar los daños que se causen a la Administración o al personal dependiente de la misma, por iguales causas y con idénticas excepciones que las que con referencia a terceros.

#### **1.4.8 Impuestos.**

El contratista estará obligado a satisfacer los gastos de anuncio de licitación y de formalización del contrato, las tasas por prestación de los trabajos facultativos de replanteo, dirección, inspección y liquidación de las obras y cualesquiera otras que resulten de aplicación según las disposiciones vigentes, en la forma y cuantía que éstas señalen.

#### **1.4.9 Causas de Rescisión del Contrato.**

Son causas de rescisión del contrato:

- La muerte o incapacidad sobrevenida del contratista individual o la extinción de la personalidad jurídica de la sociedad contratista.
- La declaración de concurso o la declaración de insolvencia en cualquier otro procedimiento.
- El mutuo acuerdo entre la Administración y el contratista.
- La falta de prestación por el contratista de la garantía definitiva o las especiales o complementarias de aquélla en plazo en los casos previstos en la Ley y la no formalización del contrato en plazo.
- La demora en el cumplimiento de los plazos por parte del contratista.
- La falta de pago por parte de la Administración en el plazo de ocho meses.
- El incumplimiento de las restantes obligaciones contractuales esenciales.
- Aquellas que se establezcan expresamente en el contrato.

La resolución del contrato se acordará por el órgano de contratación, de oficio o a instancia del contratista, en su caso, mediante procedimiento en la forma que reglamentariamente se determine.

La declaración de insolvencia en cualquier procedimiento y, en caso de concurso, la apertura de la fase de liquidación originarán siempre la resolución del contrato.

En los restantes casos de resolución de contrato el derecho para ejercitarla será potestativo para aquella parte a la que no le sea imputable la circunstancia que diere lugar a la misma.

Cuando la causa de resolución sea la muerte o incapacidad sobrevenida del contratista individual la Administración podrá acordar la continuación del contrato con sus herederos o sucesores.

La resolución por mutuo acuerdo sólo podrá tener lugar cuando no concurra otra causa de resolución imputable al contratista y siempre que razones de interés público hagan innecesaria o inconveniente la permanencia del contrato.

En los casos de fusión de empresas en los que participe la sociedad contratista continuará el contrato con la entidad absorbente o resultante de la fusión, que quedará subrogada en todos los derechos y obligaciones dimanantes del mismo.

En los supuestos de escisión, aportación o transmisión de empresas o ramas de la misma continuará el contrato con la entidad resultante o beneficiaria, que quedará subrogada en los derechos y obligaciones dimanantes del mismo, siempre que la entidad resultante o beneficiaria mantenga la solvencia exigida al acordarse la adjudicación.

En caso de declaración de concurso y mientras no se haya producido la apertura de la fase de liquidación, la Administración potestativamente continuará el contrato si el contratista prestare las garantías suficientes a juicio de aquélla para su ejecución.

Si la causa de resolución fuera la falta de prestación de garantías complementarias, la resolución afectará a la totalidad del contrato.

El incumplimiento de las obligaciones derivadas del contrato por parte de la Administración originará la resolución de aquel sólo en los casos previstos en la Ley de Contratos de las Administraciones Públicas.

Cuando obedezca a mutuo acuerdo los derechos de las partes se acomodarán a lo válidamente estipulado entre la Administración y el contratista.

El incumplimiento por parte de la Administración de las obligaciones del contrato determinará para aquélla, con carácter general, el pago de los daños y perjuicios que por tal causa se irroguen al contratista.

Cuando el contrato se resuelva por incumplimiento culpable del contratista le será incautada la garantía y deberá, además, indemnizar a la Administración los daños y perjuicios ocasionados en lo que excedan del importe de la garantía incautada.

En todo caso, el acuerdo de resolución contendrá pronunciamiento expreso acerca de la procedencia o no de la pérdida, devolución o cancelación de la garantía constituida.

## **2. PLIEGO DE CONDICIONES PARTICULARES.**

### **2.1 Condiciones que deben cumplir los Materiales.**

#### **2.1.1 Procedencia de los materiales.**

El contratista está obligado a que las canteras, graveras, fábricas, marcas de prefabricados y en general la procedencia de los materiales que se empleen en las obras respondan a las calidades previstas en el Proyecto.

#### **2.1.2 Ensayos.**

Los ensayos, análisis o pruebas a que haya que someter los materiales, se realizarán en la forma y con la frecuencia que indique la Dirección de obra.

Será obligación del Contratista avisar a la Dirección de obra con antelación suficiente del acopio de los materiales que pretende utilizar en la ejecución de las obras, para que puedan ser realizados a tiempo los ensayos oportunos.

El coste de estos ensayos será cuenta del Contratista hasta un importe máximo del 1% del presupuesto de la obra, y pondrá a disposición de la Dirección de obra las cantidades de material necesarias para la realización de las pruebas. En caso de que aquel no se mostrase conforme con los resultados, podrán repetirse en un laboratorio oficial, siendo de su cuenta si se llega a la conclusión de que son rechazables.

Cualquier trabajo que se realice con materiales no ensayados o no aprobados por el Director, podrá ser considerado como defectuoso.

### **2.1.3 Almacenamiento.**

Los materiales se almacenarán de modo que se asegure su correcta conservación y en forma que se facilite su inspección en caso necesario.

### **2.1.4 Materiales para morteros y hormigones.**

Las calidades requeridas para cada material que se utilice para la fabricación de morteros y hormigones, serán las exigidas por la Instrucción vigente para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado teniendo que ir acompañados de los oportunos ensayos que para cada material exige la citada instrucción.

El Contratista tomará todas las precauciones necesarias para que durante la manipulación de estos materiales no se alteren sus características iniciales.

#### **2.1.4.1 Cementos.**

Los cementos elegidos cumplirán las prescripciones del vigente pliego de Condiciones Generales para la recepción de Cementos.

Solamente se utilizará cemento de categoría no inferior a trescientos cincuenta kilopondios por centímetro cuadrado (350 kp/cm<sup>2</sup>). Si la Dirección de Obra lo cree oportuno podrá exigir que el cemento sea resistente a sulfatos. El cemento cumplirá las prescripciones impuestas en el artículo cinco (5) de la instrucción EH-91 para el proyecto y ejecución de obras de hormigón en masa y armado, aprobado por el Real Decreto 1039/1991, de 28 de Junio.



El cemento será transportado en envases homologados, en los que deberá figurar expresamente el tipo de cemento y nombre del fabricante, o bien a granel o en depósitos herméticos, en cuyo caso deberá acompañar a cada remesa el documento de envío con las mismas indicaciones citadas. Todos los vehículos utilizados para el transporte de cemento estarán provistos de dispositivos de protección contra el viento y la lluvia.

El cemento se almacenará de tal forma que permita el fácil acceso, para la adecuada inspección e identificación de cada remesa, en un almacén o silo protegido convenientemente contra la humedad del suelo y de las paredes. Se dispondrán los almacenes o silos necesarios para que no puedan mezclarse los distintos tipos de cementos.

En el caso de que el cemento se almacene en sacos, estos se apilarán sobre tarimas, separados de las paredes del almacén y dejando corredores entre las diferentes pilas, con objeto de permitir el paso del personal, y conseguir una amplia aireación del local. Cada cuatro capas de sacos, como máximo se colocará un tablero o tarima que permita el paso de aire a través de las propias pilas que forman los sacos.

Las tomas de muestras y los ensayos que se realicen, se ejecutarán de acuerdo con los procedimientos indicados en el vigente Pliego General de Condiciones para la recepción de Conglomerantes Hidráulicos en las obras de Carácter Oficial. Independientemente de tales ensayos, cuando dicho cemento en condiciones atmosféricas normales haya estado almacenado en sacos, durante un plazo superior o igual a tres semanas, se procederá a comprobar que las condiciones de almacenamiento han sido adecuadas. Para ello se repetirán los ensayos de recepción antes indicados por el siguiente orden:

- 1 Residuos sobre el tamiz de 4.900 mallas.
- 2 Pérdidas al fuego.
- 3 Ensayos restantes.

Teniendo en cuenta que basta con que el cemento cumpla con el ensayo 1 o en su defecto, con el 2, para que sea declarado apto.

Deberá repetirse este ensayo de comprobación de condiciones de almacenamiento si transcurren tres semanas o más desde la anterior hasta el momento de su empleo. En ambientes muy húmedos o en el caso de condiciones atmosféricas especiales, la Dirección de obra podrá variar, a su criterio, los indicados plazos de tres semanas. Si lo estima oportuno la Dirección de Obra podrá reducir la serie completa de ensayos de recepción, a los de prueba de fraguado, estabilidad al agua caliente y resistencia del mortero normal a los siete días.

Para rechazar el cemento bastará con que deje de cumplir una sola de las condiciones que se le exigen en los ensayos que se han mencionado.

#### **2.1.4.2 Agua**

Serán de aplicación las prescripciones impuestas en el artículo seis (6) de la Instrucción EH-91. Las características del agua a emplear en el amasado y curado de morteros y hormigones se comprobarán de acuerdo con lo dispuesto en el artículo sesenta y tres (63) de la Instrucción EH-91.

Estas comprobaciones se realizarán incluso cuando el agua que se pretende utilizar haya sido empleada anteriormente en otras obras.

#### **2.1.4.3 Áridos.**

- **Árido grueso.**

Serán de aplicación todas las prescripciones impuestas en el artículo 7 de la instrucción para el Proyecto y la Ejecución de Obras de Hormigón en Masa o Armado, EH-91.

Para el almacenamiento de áridos gruesos, cuando no se efectúe éste en tolvas o silos, sino en pilas, deberá disponerse una base satisfactoria a juicio del Director de Obra, en caso contrario, los treinta centímetros (30 cm) inferiores de la base de las pilas, no se utilizarán ni se quitarán durante todo el tiempo que se vayan a utilizar las pilas.

La autorización para el empleo de los áridos se harán siempre después del examen efectuado, una vez terminado el proceso de extracción y tratamiento, y cuando se encuentre en los depósitos para su empleo sin ulterior tratamiento, pero el Director de Obra podrá rechazar previamente las canteras, depósitos o fuentes de procedencia en general, que proporcionen materiales con una excesiva falta de uniformidad que obligue a un control demasiado frecuente de sus características. Dicho control se llevará a cabo incluso cuando otros áridos de igual procedencia hayan sido empleados en otras obras, según se dispone en el artículo sesenta y tres (63) de la mencionada Instrucción.

La granulometría aceptada por la Dirección de Obra se comprobará sistemáticamente mediante un (1) ensayo granulométrico cada cien metros cúbicos (100 m<sup>3</sup>) o fracción de árido grueso a emplear. Se ejecutarán los siguientes ensayos, cada vez que se cambie de suministrador o cuando se detecten sensibles cambios en el árido suministrado:

- Terrones de arcilla en áridos s / norma UNE - 7133.
- Finos que pasan por el tamiz 0.080 UNE s / norma UNE - 7135.
- Partículas blandas en áridos gruesos s / norma UNE - 7134.
- Material retenido por el tamiz 0.32 UNE y que flota en líquido de peso específico 2.0 s / norma UNE 7244.
- Compuestos de azufre expresados en SO<sub>4</sub>= s / norma UNE -7245.
- Reactividad potencial de los áridos con el alcali del cemento, s / norma UNE - 7137.
- Contenido de Materia Orgánica en árido fino s / norma UNE - 7082.

Además de estos ensayos, las características del árido grueso se podrán comprobar, antes de su utilización, mediante aquellos otros que la Dirección de Obra considere pertinentes.

- **Árido fino.**

Serán de aplicación todas las prescripciones impuestas en el artículo siete (7) de la instrucción para el Proyecto y la Ejecución de Obras de Hormigón en Masa o Armado, EH-91.

Para el almacenamiento de áridos finos, es de aplicación lo expuesto en el apartado de árido grueso.

En lo referente a ensayos, la granulometría aceptada por la Dirección de Obra se comprobará sistemáticamente mediante un (1) ensayo granulométrico cada cincuenta metros cúbicos ( $50 \text{ m}^3$ ) o fracción de árido fino a emplear.

A su vez se realizarán, cada cincuenta metros cúbicos ( $50 \text{ m}^3$ ) o fracción de árido grueso a emplear:

- Un (1) ensayo de determinación de materia orgánica.
- Un (1) ensayo de determinación de finos.

Además de estos ensayos, las características del árido fino se podrán comprobar, antes de su utilización, mediante aquellos otros que la Dirección de Obra considere pertinentes.

#### **2.1.4.4 Acero para armaduras.**

Las barras de acero corrugado utilizadas como armaduras en hormigones o con otra finalidad, cumplirán las prescripciones recogidas en el artículo nueve (9) de la Instrucción EH-91 complementadas con las siguientes precisiones:

- La carga unitaria de rotura de las barras corrugadas será superior a cinco mil trescientos kilopondios por centímetro cuadrado ( $5300 \text{ kp} / \text{cm}^2$ ), el límite elástico a cuatro mil cien kilopondios por centímetro cuadrado ( $4100 \text{ kp} / \text{cm}^2$ ) y el alargamiento en rotura al dieciséis por ciento (16%).
- El control de calidad de las barras de acero se realizará con arreglo al artículo setenta y uno (71) de la mencionada Instrucción, para lo que en dicho artículo se denomina de calidad de nivel normal.

### **2.1.5 Hierros y aceros para elementos metálicos.**

Los hierros y aceros cumplirán las condiciones prescritas en la Instrucción vigente para estructuras de acero. Cualquier tipo de acero utilizado en perfiles laminados será dulce y perfectamente soldable. Sus características cumplirán las prescripciones de la Instrucción de Estructuras Metálicas rechazándose todos los elementos que presenten grietas, pelos o resulten agrios al trabajador.

Todos los elementos metálicos que no queden embebidos en el hormigón, tales como pates, tapas, cercos y elementos de carpintería, que no vengan protegidos de fábrica, y en general los que considere oportuno el Director de Obra, se tratarán con una pintura anticorrosiva adecuada a base de óxido de hierro, amarillo de zinc y óxido de zinc.

Mediante el certificado de garantía de la factoría siderúrgica podrá prescindirse, en general, de los ensayos de recepción.

### **2.1.6 Cubrejunta de cloruro de polivinilo.**

En las juntas de dilatación del hormigón que indiquen los planos, se instalarán cubrejuntas de cloruro de polivinilo.

### **2.1.7 Madera.**

La que se destine a entibación de zanjas, apeos, cimbras, andamios y demás medios auxiliares no tendrá otra limitación que la de ser sana y con dimensiones suficientes para ofrecer la resistencia necesaria.

La madera para carpintería de armar será sana y con pocos nudos. Deberá estar suficientemente seca, por procedimiento natural o artificial. Sólo se empleará madera de sierra, con aristas vivas, de fibra recta paralela a la mayor dimensión de la pieza, sin grietas, hendiduras, ni nudos de espesor superior a la quinta parte (1/5) de la menor dimensión.

La madera para carpintería de taller será en general de pino o castaño.

### **2.1.8 Ladrillos.**

Los ladrillos ordinarios estarán fabricados con arcilla y arena o tierras arcillo - arenosa. Serán duros, de grano fino y uniforme, bien cocidos, perfectamente moldeados, de aristas vivas y caras planas. Darán un sonido metálico al ser golpeados con el martillo. No deberán absorber más del dieciséis (16) por ciento de su peso, después de un día de inmersión en agua. Ofrecerán buena adherencia al mortero. Su resistencia a la compresión será por lo menos de noventa (90) kilogramos por centímetro cuadrado y la fractura debe mostrar una textura homogénea, apretada, exenta de planos de exfoliación, de caliches y de materias extrañas. Se tolerarán diferencias hasta de ocho (8) milímetros, en más o menos, en las dos dimensiones principales y solamente de tres (3) milímetros en el grueso. Las distintas partidas presentarán apreciable uniformidad de color.

### **2.1.9 Acero moldeado.**

Será de gran fino, compacto, pasta exenta de poros y rechupes, completamente homogénea, sin escorias ni otros efectos.

### **2.1.10 Aluminio.**

El aluminio será laminado y recocido, de estructura fibrosa, color blanco brillante, con matiz ligeramente azulado y no contendrá más de un tres por ciento (3%) de impurezas.

### **2.1.11 Plomo.**

El plomo será de primera fusión y no podrá contener más de cinco décimas (0.5) por ciento de materias extrañas. Será maleable y no presentará poros ni grietas cuando se trabaje al martillo.

### **2.1.12 Bronce.**

El bronce que vaya a emplearse deberá ser sano, homogéneo, sin sopladuras ni rugosidades. Su composición será de cobre y estaño. De cien (100) partes correspondientes a la composición total de la aleación, el análisis no deberá denunciar la presencia de más de dos (2) partes de zinc y una con cinco (1,5) partes de impurezas; el plomo contenido en dichas impurezas no será superior a cinco décimas por ciento (0,5%) de la composición total de la aleación. Se admite una tolerancia de cinco décimas por ciento (0.5%) menos para la presencia de estaño, lo que corresponde a la titulación 925 / 75.

### **2.1.13 Cobre.**

El cobre para los tubos, chapas, bandas y pletinas será homogéneo y de primera calidad. Tendrá una pureza mínima del noventa y nueve con setenta y cinco por ciento (99,75%).

El cobre para conductores eléctricos tendrá una conductividad mínima del noventa y ocho por ciento (98%) referida al patrón internacional.

#### **2.1.14 Vidrio.**

Deberá resistir perfectamente y sin irisarse la acción del aire, de la humedad y del calor, del agua fría o caliente y de los ácidos, excepto del fluorhídrico. No deberá amarillear bajo la acción solar.

No tendrá manchas, burbujas, grietas, piquetas, estrías ni otros defectos. Será completamente plano y transparente no admitiéndose si, visto de costado, presenta un tinte verde oscuro.

Será de grueso uniforme y estará perfectamente cortado sin presentar asperezas, cortes ni ondulaciones de los bordes.

Tendrá la resistencia correspondiente al empleo que se destina.

#### **2.1.15 Polietileno.**

El polietileno puro podrá ser fabricado a alta presión llamado polietileno de baja densidad, o fabricado a baja presión llamado de alta densidad. En uno y otro caso deberán cumplirse las características establecidas por las normas aplicables en lo relativo a:

- Peso específico.
- Coeficiente de dilatación lineal.
- Temperatura de reblandecimiento.
- Índice de fluidez.
- Módulo de elasticidad.
- Valor mínimo de la tensión máxima.



### 2.1.16 Pinturas.

Los elementos constitutivos de las pinturas deberán cumplir:

**Agua.** Deberá ser pura, no conteniendo sales ni materias orgánicas que puedan alterar los colores o los aglutinantes.

**Aceite de linaza.** Será cocido y cumplirá las condiciones de las normas UNE.

**Aguarrás.** Cumplirá las condiciones de las normas UNE.

**Cola.** Podrá ser de origen animal o vegetal.

**Colores o pigmentos.** Deberán ser fijos, insolubles en agua e inalterables por la acción de los aceites o de otros colores. Tendrán la facultad de incorporarse al aceite, cola, etc. y facilidad para extenderse y de cubrición. Deberán cumplir las prescripciones señaladas en la normas UNE.

**Esmalte.** El esmalte de color será inalterable y muy brillante, propiedad que conservará aunque humedezca y frote. Secará perfectamente antes de las doce (12) horas.

**Secantes líquidos.** Serán de la mejor calidad y en la mezcla no deberán alterar el color de las pinturas. Secarán en un periodo de tiempo inferior a las doce (12) horas.

El contratista especificará y justificará en cada caso, de acuerdo con las normas en vigor, las condiciones de las pinturas a emplear en los distintos puntos, cuidando muy especialmente de establecer las condiciones de las que se utilicen para protección de las superficies metálicas, o de fábrica, que puedan estar sujetas a ambientes húmedos y corrosivos.

### **2.1.17 Esmaltes, cales y emulsiones de alquitrán para revestimiento de tubos.**

El esmalte estará compuesto de una brea de alquitrán procesada de forma especial, combinada con un mineral inerte. No contendrá asfaltos de base natural ni derivados del petróleo. El esmalte de alquitrán podrá ser de dos tipos, uno “normal” y otro de “baja temperatura”.

La lechada de cal para el acabado del sistema de protección a base de alquitrán en las tuberías metálicas enterradas estará formado por los ingredientes siguientes: agua, aceite de linaza cocido, cal viva, sal.

Las características del esmalte de alquitrán en sus dos tipos y de la emulsión de alquitrán utilizado en el sistema de protección exterior de tuberías metálicas enterradas, deberán corresponder a las indicadas en el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para tuberías de Abastecimiento de Agua (PPTGTAA).

### **2.1.18 Válvulas.**

Todas las válvulas de compuerta tendrán las dimensiones y demás características indicadas en los planos y restantes documentos del Proyecto.

Llevarán marcado, como mínimo, de forma legible e indeleble los siguientes datos:

- Marca del fabricante.
- Diámetro nominal.
- Presión nominal.

Todas las válvulas de retención tendrán las dimensiones y demás características indicadas en los planos y restantes documentos del Proyecto.

Llevarán marcado, como mínimo, de forma legible e indeleble los siguientes datos:

- Marca del fabricante.
- Diámetro nominal.
- Presión nominal.

## **2.1.19 Materiales para instalaciones eléctricas.**

### **2.1.19.1 Recepción de materiales eléctricos.**

Todos los materiales empleados deberán ser de primera calidad y atenerse estrictamente a las especificaciones de este Pliego. Todos los materiales que intervengan en las instalaciones de energía eléctrica deberán cumplir las condiciones exigidas en el Reglamento de Líneas Eléctricas de Alta Tensión (Decreto 3151/1968, de 28 de noviembre), en el Reglamento Electrónico de Baja Tensión (Decreto 2413/1973 de 20 de septiembre) y, en general, en todos los Reglamentos, Normas e Instrucciones Oficiales que guarden relación con este tipo de instalaciones y con los trabajos necesarios para realizarlas, y se hallen en vigor en el momento de iniciarse las obras o durante el curso de las mismas.

Los ensayos de los materiales eléctricos se realizarán de acuerdo con las normas UNE, y en caso de que no existan, por aquellas pruebas que constituyen norma de buena construcción para el elemento ensayado.

Todos los materiales responderán a las características de tensión, intensidades, aislamientos, pruebas, etc. Del tipo de material que se indica en los diversos documentos del Proyecto.

### **2.1.19.2 Conductores eléctricos.**

Cuando sean de cobre, las tolerancias admitidas en la sección real serán del tres por ciento (3%) en más y uno con cinco por ciento (1,5%) en menos, entendiéndose por sección la media de la medida en varios puntos de su rollo.

Si en un sólo punto, la sección es de tres por ciento (3%) menor que la nominal, el conductor no será admitido.

#### **2.1.19.3 Hilos y cables sencillos para instalaciones eléctricas.**

Los hilos y cables sencillos serán de cobre estañado con aislamiento. Todos serán procedentes directamente de fábrica, desechándose los que acusen deterioro por mal trato, picaduras u otros desperfectos en su envoltura exterior.

#### **2.1.19.4 Aislantes de conductores eléctricos.**

El aislamiento será de material plástico o caucho y de espesor uniforme, no tolerándose diferencias mayores de un diez por ciento (10%) .

#### **2.1.19.5 Tubos para alojar conductores eléctricos.**

Los tubos para alojar conductores eléctricos serán de resinas sintéticas o de acero especial para instalaciones eléctricas con rosca. Serán circulares con tolerancias del cinco por ciento (5%) en el diámetro.

#### **2.1.19.6 Aparatos de alumbrado.**

Todos los equipos de encendido de tubos fluorescentes serán de alto factor de potencia y arranque rápido. Las reactancias no producirán ruidos especiales.

Todos los aparatos estarán garantizados para el empleo de las lámparas correspondientes sin que éstas sufran temperaturas perjudiciales para su duración.

## **2.1.20 Materiales para tuberías y accesorios.**

### **2.1.20.1 Condiciones generales.**

Las calidades que deben reunir los materiales, los propios tubos, uniones, juntas, válvulas, piezas especiales, y los ensayos correspondientes, deberán tenerse en cuenta las especificaciones del Pliego vigente de Prescripciones Técnicas para tuberías de Abastecimiento de Agua.

### **2.1.20.2 Tuberías de hormigón armado.**

Los hormigones y sus componentes elementales, deberán cumplir las especificaciones de la Instrucción vigente para el Proyecto y la ejecución de las obras de hormigón en masa y armado.

La resistencia característica a la compresión del hormigón debe ser superior a la del cálculo, tanto para los tubos centrifugados como vibrados. Por todo lo demás, este tipo de tuberías deberá cumplir con lo indicado en el Pliego vigente de Prescripciones Técnicas para tuberías de Abastecimiento de Agua.

### **2.1.20.3 Tuberías de fibrocemento.**

Los tubos de fibrocemento estarán fabricados por arrollamiento continuo de capas laminares sobre mandril de acero de superficie completamente lisa. La fibra de material será de amianto de la mejor calidad y los diámetros interiores y las presiones de trabajo y de rotura serán las establecidas en las normas UNE.

#### **2.1.20.4 Tuberías de acero.**

Serán de acero estirado, sin soldadura, o soldada por resistencia eléctrica o cualquier otro tipo, siempre que cumplan las condiciones de servicio a que están destinadas.

#### **2.1.20.5 Tubos de plomo.**

El plomo que se emplee cumplirá las condiciones del apartado 2.1.11. Las tuberías de plomo estarán fabricadas por laminado y prensado, las de diámetro inferior a trescientos (300) milímetros, y por arrollamiento y soldadura las de diámetro superior. Las uniones se ejecutarán por soldadura.

Los tubos de PVC serán elaborados a partir de resina de cloruro de polivinilo pura, obtenida por el proceso de suspensión y mezcla posterior extensionada. Serán de tipo liso según normas DIN y UNE y se soldarán según las instrucciones de las mismas.

Estarán timbradas con las presiones normalizadas de trabajo, y cumplirán las condiciones técnicas y de suministro según las normas DIN y UNE.

#### **2.1.20.6 Tuberías de hormigón camisa de chapa.**

Los tubos deben estar compuestos por:

- Una camisa de chapa.
- Un revestimiento de hormigón cubriendo el cilindro exteriormente.
- Un recubrimiento interior igualmente de hormigón.

La camisa de chapa cumplirá las normas UNE para acero soldado. Los tubos cumplirán lo prescrito en el Pliego vigente de Prescripciones Técnicas Generales para tuberías de Abastecimiento de Aguas.

#### **2.1.20.7 Tuberías de fundición.**

Los tubos de hierro fundido deberán cumplir lo prescrito en el vigente Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Tuberías de Abastecimiento de Agua, en lo que respecta a fabricación, espesores, longitudes, tolerancias, etc.

El material empleado en la fabricación del tubo será de grano fino, apretado y homogéneo; estará libre de escorias, ampollas y partes porosas y deberá poderse trabajar fácilmente con la lima y el buril.

El material contendrá un porcentaje de carbono comprendido entre el 3,5 y el 4,5%. Este carbono estará en forma de grafito esferoidal (y no laminar), correspondiente a la fundición dúctil.

#### **2.1.20.8 Otros tipos de tuberías.**

Otras clases de tuberías para las que no especifican las condiciones particulares en este Pliego, cumplirán las condiciones impuestas en el Pliego correspondiente a cada tipo de las que se tuvieran que emplear.

#### **2.1.20.9 Piezas especiales para tuberías.**

Las piezas especiales, tes, codos, manguitos, etc. cumplirán las condiciones exigidas a los tubos de su clase más las inherentes a la forma especial de las piezas.

#### **2.1.20.10 Herrajes y anclajes para fijación de tuberías.**

Serán de material adecuado a cada uso y se ejecutarán teniendo en cuenta la dilatación de las tuberías.

## **2.2 Condiciones que deben cumplir las unidades de obra.**

### **2.2.1 Condiciones generales de ejecución.**

Todas las obras comprendidas en el Proyecto se ejecutarán de acuerdo con los Planos del mismo y con las prescripciones del presente Pliego. En caso de duda u omisión será el Gerente de Obra y / ó la Dirección Facultativa quien resuelva las cuestiones que puedan presentarse.

Serán válidas y aplicables todas las prescripciones referentes a las condiciones que deben cumplir la ejecución de las Unidades de Obra, que aparecen las Instrucciones, Pliegos de Condiciones Generales o Normas oficiales que reglamenten los procedimientos utilizados en las Unidades de Obra de este Proyecto.

Será obligación del contratista notificar al Director de Obra y obtener su autorización, sobre los procedimientos de las diferentes Unidades de Obra que vayan a ser utilizados con la suficiente antelación, para que puedan efectuarse los juicios oportunos.

### **2.2.2. Desbroce del terreno.**

Las operaciones de remoción se efectuarán con las precauciones necesarias para lograr unas condiciones de seguridad suficientes y evitar daños en las construcciones existentes, de acuerdo con lo que sobre el particular ordene el Director, quien designará y marcará los elementos que haya que conservar intactos.

Para disminuir en lo posible el deterioro de los árboles que hayan de conservarse, se procurará que los que han de derribarse caigan hacia el centro de la zona objeto de limpieza. Cuando sea preciso evitar daños a otros árboles se irán troceando por su copa y tronco progresivamente.



Todas las oquedades causadas por la extracción de tocones y raíces se rellenarán con material análogo al suelo que ha quedado al descubierto al hacer el desbroce y se compactarán hasta que la superficie se ajuste a la del terreno existente.

Los árboles susceptibles de aprovechamiento serán podados y limpiados; luego se cortarán en trozos adecuados y finalmente se almacenarán cuidadosamente, a disposición de la Administración, separados de los montones que hayan de ser quemados o desechados. El contratista no estará obligado a trocear la madera de longitud inferior a tres metros.

Todos los subproductos procedentes del desbroce podrán ser utilizados por el Contratista, con la autorización de la Dirección Facultativa.

### **2.2.3. Excavaciones y Desmontes.**

#### **2.2.3.1. Excavaciones en roca y excavación normal.**

La excavación en roca comprende toda la excavación correspondiente a masas de roca, depósitos estratificados y la de todos aquellos materiales que presentan características de roca maciza, cementados tan sólidamente que únicamente puedan ser removidos utilizando martillo picador y / ó explosivos.

La excavación normal comprende la excavación de todos los restantes tipos de terreno, que puedan ser removidos con la utilización de equipos mecánicos más o menos pesados y que por lo tanto no están incluidos en la clasificación anterior.

### **2.2.3.2. Excavación en desmante.**

Una vez terminadas las operaciones de desbroce del terreno se iniciarán las obras de excavación, ajustándose a las alineaciones, pendientes, dimensiones y demás información contenida en los Planos, el presente Pliego, replanteos definitivos, y a lo que sobre el particular ordene la Dirección Facultativa.

Se tomarán todas las precauciones necesarias para alterar lo menos posible la roca o el terreno, en las proximidades del perfil de la excavación, tanto en soleras como en taludes.

El Contratista ejecutará cuantas zanjas de desagüe sean necesarias, para evitar que las aguas de lluvia o las que broten en el terreno se almacenen en las excavaciones.

La tierra vegetal que se encuentre en las excavaciones y que no se hubiera extraído en el desbroce, se removerá salvo prescripciones en contrario de la Dirección Facultativa, y se acopiará para su utilización posterior en protección de taludes o superficies erosionables, o donde ordene la Dirección. En cualquier caso, la tierra vegetal extraída se mantendrá separada del resto de los productos excavados, cuando éstos puedan ser utilizados en las obras como rellenos.

Todos los materiales que se obtengan de la excavación y sean aptos para la formación de terraplenes y rellenos, se transportarán directamente a las zonas de utilización o a las que, en su defecto, señale la Dirección Facultativa. En este caso se amontonará ordenadamente a distancia suficiente de los bordes de los taludes, con objeto de evitar sobrecargas e impedir deslizamientos o derrumbamientos. Los productos sobrantes o no utilizables, se transportarán a lugares convenientes (vertederos).

En el precio de la excavación queda incluido el transporte del material, bien a vertedero o zonas de la obra para su adecuado empleo. La terminación y refino de las superficies de desmonte, no será de abono en ningún caso, considerándose incluida su ejecución en los precios de las unidades de excavación.

### **2.2.3.3. Excavaciones para emplazamientos y cimientos.**

Se considera de aplicación lo preceptuado en el apartado 2.2.3.2, con los complementos siguientes:

- **Entibaciones.**

El Contratista está obligado al empleo de las entibaciones necesarias para evitar desprendimientos, siempre que la calidad de los terrenos o la profundidad de la zanja lo aconseje.

- **Cotas de cimentación.**

La excavación para cimientos se profundizará hasta el límite a fin de que las obras incidan sobre terreno suficientemente firme.

- **Agotamientos.**

El contratista queda obligado a verificar por su cuenta todos los agotamientos y desviaciones de las aguas, de cualquier procedencia que fueren, que pudieran encontrarse en las zanjas y terrenos en que las fábricas hayan de incidir, así como a desviar las corrientes y aguas pluviales, que pudieran presentarse.

- **Superficies de cimentación y relleno de cimientos.**

Las superficies de cimentación se limpiarán de todo el material suelto o flojo que posean, y sus grietas y hendiduras se rellenarán adecuadamente. Asimismo se eliminarán todas las rocas sueltas o desintegradas y los estratos excesivamente delgados. Deberán macizarse completamente, bien con tierras completamente consolidadas, bien con gravas y arcillas u otros materiales, los espacios que queden entre las paredes de las zanjas y de las fábricas cuando éstas no deban incidir sobre aquellas.

- **Medios auxiliares.**

El Contratista queda en libertad para emplear los medios auxiliares y procedimientos que juzgue preferibles al realizar la cimentación de las obras, con tal de que ésta pueda realizarse en la forma prescrita en este artículo y en los demás documentos del presente Proyecto y se pueda llevar a cabo dentro de un plazo razonable, en armonía con el total fijado para la obra.

- **Cambios en la cimentación.**

Si del reconocimiento practicado al abrir las zanjas resultase la necesidad o conveniencia de variar el sistema de cimentación propuesto, el contratista propondrá al Gerente de Obra y / ó Dirección Facultativa las soluciones adecuadas en función de las características del terreno.

El precio unitario es aplicable a la excavación en todo tipo de terreno, incluso roca, y para cualquier profundidad, incluyendo las entibaciones y agotamientos que fuesen necesarios.

#### **2.2.3.4. Excavación en zanja.**

Se considera de aplicación lo preceptuado en el apartado 2.2.3.2 y en el 2.2.3.3 anteriores con los complementos siguientes:

- **Trazado y ejecución.**

Se efectuarán las zanjas con las alineaciones y desniveles previstos en los planos del Proyecto y en los replanteos definitivos.

La apertura de la zanja podrá efectuarse con medios mecánicos o manuales. La profundidad de las zanjas será la que se señale en los Planos, debiendo resultar protegidas de los efectos del tráfico y cargas exteriores, así como preservadas de las variaciones importantes de temperatura del medio ambiente.

El material procedente de la excavación se apilará lo suficientemente alejado del borde de las zanjas para evitar el desmoronamiento de éstas o que el desprendimiento del mismo pueda poner en peligro a los trabajadores.

- **Agotamiento de las excavaciones en zanjas.**

En el caso de que la zanja cortase el nivel freático y la cuantía de las aportaciones en el interior de las mismas hiciese necesario el agotamiento, se procederá a esta operación, que se mantendrá durante el tiempo preciso para la adecuada terminación de la unidad de obra para la que había sido abierta.

El precio unitario es aplicable a la excavación en todo tipo de terreno, incluso roca, y para cualquier profundidad, incluyendo las entibaciones y agotamientos que fuesen necesarios.

#### **2.2.4. Terraplenes.**

Este trabajo consiste en la preparación del terraplén vertido, consolidación y perfilado del material procedente de las excavaciones o tomado de préstamo, previa separación de la tierra vegetal y demás materiales que no cumplan las condiciones expresadas en el punto 2.1 de este Pliego.

La preparación de la superficie de asiento del terraplén constará de las siguientes operaciones:

- **Excavación de la tierra vegetal.**

Se excavará la tierra vegetal que se encuentre en las zonas de cimentación de terraplenes, en la extensión y profundidad que indique el Director de Obra. Las tierras procedentes de esta excavación se transportarán por cuenta y riesgo del Contratista, a vertederos apropiados, de acuerdo con lo que dicte a tal fin el Director de Obra.

Una vez excavada la tierra vegetal, si es que aún hubieran quedado tocones y raíces, se limpiará de elementos vegetales el terreno de asiento de los terraplenes.

- **Construcción del terraplén.**

Una vez preparado el cimiento del terraplén, se procederá a la construcción del mismo, empleando materiales que cumplan las condiciones establecidas en el punto 2.1 de este Pliego, los cuales serán extendidos en tongadas sucesivas de espesor uniforme y sensiblemente horizontal.

En caso de que fuera necesaria la adición de agua, se tomarán las medidas necesarias para que la humectación sea uniforme, entendiéndose que todas las operaciones precisas para conseguir la humedad adecuada están comprendidas en el precio total del terraplén. Conseguida la humectación más conveniente, se procederá a la compactación mecánica de la tongada y no se extenderá sobre ella ninguna otra en tanto no se haya realizado la nivelación y conformación de la misma y comprobado su grado de compactación.

No se realizará el tendido de una nueva capa sin que se haya comprobado que la precedente está suficientemente compactada y recibido autorización de la Dirección de obra para ello.

En la compactación de terraplenes podrán utilizarse rodillos neumáticos, cilindros vibratorios, equipos de pata de cabra y otro medio mecánico debiendo recibir el equipo la aprobación de la Dirección de Obra. Con cada uno de los medios de apisonado que se vayan a utilizar se hará un ensayo "in situ" para determinar el número mínimo de pasadas necesario para obtener la citada densidad mínima.

#### **2.2.5. Relleno de zanjas.**

Se define como relleno el transporte, la extensión y compactación de materiales a realizar en zanjas. Los materiales a utilizar habrán de recibir la aprobación previa del Director de Obra.

El material de relleno que ha de estar en contacto con los tubos, se seleccionará evitando colocar piedras o gravas cuyos tamaños sean superiores a tres (3) centímetros. Se tomarán las precauciones oportunas para que al caer los materiales de relleno en la zanja no produzcan daños en los tubos.

La consolidación del relleno se efectuará mediante los medios mecánicos necesarios y previstos, debidamente autorizados por el Director de Obra. No se extenderá ninguna nueva capa de relleno hasta asegurarse de que la anterior está compactada debidamente. Caso de no hacerse así, el Contratista deberá efectuar todas las operaciones convenientes, incluso quitar la capa superior si es preciso, para conseguir en las capas el grado de compactación mínimo exigido, operaciones que serán totalmente de cuenta del Contratista.

Sobre las capas en ejecución debe prohibirse la acción de todo tipo de tráfico hasta que se haya completado su compactación. Si ella no es factible, el tráfico que necesariamente tenga que pasar sobre ellas se distribuirá de forma que no se encuentren huellas de rodadas en la superficie.

Si el relleno hubiera de construirse sobre terreno inestable, turba o arcilla blanda se asegurará la eliminación de este material a su consolidación. Cuando el relleno haya de asentarse sobre un terreno en el que existan corrientes de agua superficial, se desviarán las primeras y captarán y conducirán las últimas fuera del área donde vaya a construirse el relleno antes de comenzar la ejecución.

El drenaje de los rellenos contiguos a obras de fábrica se ejecutarán antes de, o simultáneamente a dicho relleno, para lo cual el material drenante estará previamente acoplado de acuerdo con las órdenes del Director. Una vez extendida la tongada, se procederá a su humectación, si es necesario. El contenido óptimo de humedad se determinará en obra, a la vista de la maquinaria disponible y de los resultados que se obtengan de los ensayos realizados. En los casos especiales en que la humedad del material sea excesiva para conseguir la compactación prevista, se tomarán las medidas adecuadas, pudiéndose proceder a la desecación por oreo o a la adición y mezcla de materiales secos o sustancias apropiadas como cal.

Conseguida la humectación más conveniente, se procederá a la compactación mecánica de la tongada. El grado de compactación a alcanzar en cada tongada, dependerá de la ubicación de la misma y en ningún caso será inferior al mayor del que posean los suelos contiguos a su mismo nivel.

Las zonas que, por su turno, pudieran retener agua en su superficie se corregirán inmediatamente.



## **2.2.6. Fábricas de hormigón hidráulico.**

Se refiere este artículo a las operaciones necesarias para realizar el amasado, transporte, colocación, vibrado y curado de los hormigones empleados en las obras. El incumplimiento por parte del Contratista de las prescripciones de este artículo dará lugar, si así lo juzga conveniente el Director de Obra, a la demolición del hormigón dañado o inútil para el servicio que se le encomiende y a la reposición del hormigón adecuado, siendo ambas tareas de cuenta del Contratista. Los hormigones cumplirán las prescripciones recogidas en el punto 2 de este Pliego. Asimismo, serán de aplicación general las prescripciones contenidas en los artículos catorce (14) al veintiuno (21) de la instrucción EH-91, junto con las prescripciones complementarias que siguen.

### **2.2.6.1. Tipos de hormigón.**

Para su empleo en las distintas clases de obra, y de acuerdo con la resistencia característica, se establecen los tipos de hormigón que se indican en la tabla adjunta:

<b>TIPO</b>	H-50	H-100	H-150	H-175	H-200	H-250
<b>Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días</b>	50	100	150	175	200	250

Las cantidades de los diversos componentes serán las necesarias para conseguir la resistencia característica prevista para cada tipo de hormigón.

### **2.2.6.2. Dosificación.**

La dosificación de los diferentes materiales para la fabricación del hormigón se hará, en la medida de lo posible, por peso, siendo preceptiva la del cemento. Sobre las dosificaciones previstas no se admitirán otras tolerancias que las siguientes: el dos por ciento (2%) para cada uno de los tamaños de áridos; el uno por ciento (1%) para el cemento y el uno por ciento (1%) para el agua.

### **2.2.6.3. Fabricación del hormigón.**

El proceso de fabricación del hormigón se ajustará a lo estipulado en la Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado.

Los productos de adición que se empleen se añadirán a la mezcla, disueltos en una parte del agua del amasado. El empleo de cualquier aditivo cumplirá lo prescrito en la Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado.

El hormigón se amasará forzosamente a máquina. Si ello se efectúa a pie de obra, el Contratista instalará en el lugar de trabajo una hormigonera de tipo aprobado, equipada con el dispositivo para la regulación y medición de agua, capaz de producir una mezcla de hormigón homogénea, de color uniforme.

### **2.2.6.4. Transporte.**

El transporte desde la hormigonera se realizará de la manera más rápida posible, empleando métodos que impidan toda segregación, exudación, vaporización de agua o intrusión de cuerpos extraños en la mezcla.

Se procurará que la descarga del hormigón en la obra se realice lo más cerca posible de su lugar de empleo, para reducir al mínimo las manipulaciones posteriores.

### **2.2.6.5. Colocación.**

La forma de colocación del hormigón se realizará de acuerdo con la Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa ó armado.

No se podrá hormigonar cuando la lluvia pueda perjudicar la resistencia y demás características exigidas al hormigón. Las superficies sobre las que ha de hormigonarse estarán limpias, sin agua estancada, o de lluvia, sin restos de aceite, hielo, fangos, delgadas capas de lechada, etc...

Todas las superficies de suelo o roca debidamente programadas se mojarán inmediatamente antes del hormigonado.

#### **2.2.6.6. Curado.**

Durante el primer período de endurecimiento, se someterá el hormigón a un proceso de curado según el tipo de cemento utilizado y las condiciones climatológicas. En cualquier caso deberán seguirse las recomendaciones dadas por la Instrucción vigente.

Se extremará la vigilancia de la necesidad de riego. Se emplearán preferentemente mangueras de goma, prescribiéndose la tubería de hierro si no es galvanizada. Se prohíbe el empleo de tuberías que puedan hacer que el agua contenga sustancias nocivas para el fraguado, resistencia y buen aspecto del hormigón. La temperatura del agua empleada en el riego no será inferior a la del hormigón en más de veinte (20) grados centígrados.

#### **2.2.6.7. Acabados y tolerancias.**

Las superficies horizontales, como soleras y cubiertas, que vayan a quedar vistas se acabarán cuidadosamente con instrumentos planos adecuados para obtener una superficie lisa y sin irregularidades. A efectos de abono, esta operación no se considera incluida dentro de las operaciones del hormigonado.

Tanto las superficies horizontales como las encofradas, después del desencofrado, serán examinadas cuidadosamente por el Director de Obra. La máxima flecha o irregularidad admisible, medida sobre una regla de dos metros (2 m.) de longitud aplicada en cualquier dirección, no superará los cinco milímetros (5 mm.) en las superficies vistas, ni los veinte milímetros (20 mm.) en las ocultas.

No se procederá a la corrección de ningún parámetro sin que antes haya sido examinado por el Director de Obra, quién decidirá el sistema a emplear para eliminar o paliar las imperfecciones.

El control de calidad de la ejecución y puesta en obra de los hormigones será del nivel calificado como normal en el artículo setenta y dos (72) de la mencionada Instrucción para obras de hormigón. Este nivel normal corresponde a un valor de  $\gamma_t = 1,6$  y que se realiza mediante frecuentes y periódicas visitas de Inspección de la obra, con objeto de cubrir un total de dos o tres visitas.

#### **2.2.6.8. Ensayo de los hormigones.**

Los diferentes tipos de hormigón quedan definidos por sus características según se determina en el Artículo 26.1 de la Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado (EH-91) y por las correspondientes fórmulas de trabajo determinadas según lo especificado en el Artículo 26.2 de la citada Instrucción. En todo caso la dosificación elegida deberá ser capaz de proporcionar un hormigón que posea la consistencia y resistencia característica exigidas.

Se comprobará sistemáticamente la calidad del hormigón empleado en obra, moldeándose con él las probetas necesarias para la determinación de la resistencia característica de todos los hormigones puestos en obra.

Si la resistencia característica del hormigón de las probetas ensayadas no alcanza la exigida en la definición del tipo de hormigón, se extraerá directamente probetas de los elementos afectados, de forma que no se comprometa la resistencia o la estabilidad de estos elementos, y del ensayo de estas probetas se deducirá la resistencia característica, por medio de las curvas de endurecimiento correspondientes, teniendo en cuenta las temperaturas registradas desde el momento del hormigonado. Se podrán emplear también métodos de auscultación dinámica u otros no destructivos sancionados suficientemente por la experiencia.

Si la resistencia característica así determinada siguiese siendo inferior a la especificada, se clasificará la obra realizada en el período comprendido entre dos ensayos con resultado correcto separados por alguno deficiente, como obra defectuosa, siempre que la reducción de resistencia sea inferior al veinticinco por ciento (25%). En este caso, si la pérdida de resistencia afecta a la seguridad de la obra, podrá ordenarse su demolición, que será por cuenta del Contratista.

Si la pérdida de resistencia de la obra fuese superior al veinticinco por ciento (25%), se ordenará la demolición de la obra clasificada como defectuosa.

El Contratista, en defensa de sus intereses, podrá pedir el reconocimiento de la obra clasificada como defectuosa, para lo cual se tomará de ella varias series de seis (6) probetas cada una, en los lugares que se fijen por acuerdo entre la Dirección Facultativa y el Contratista. Los resultados obtenidos de las roturas de estas probetas, hechas las oportunas rectificaciones por el diferente tamaño de las mismas, se admitirán para la clasificación definitiva de la obra. La Dirección Facultativa podrá asistir a la rotura de dichas probetas para dar validez a los resultados.

No obstante todo lo anterior, el Gerente de Obra y/o la Dirección Facultativa estudiará y aprobará o rechazará soluciones alternativas que a fin de resolver cualquier problema planteado pueda proponer al contratista.

### **2.2.7. Encofrados.**

Los encofrados se construirán de madera, metal u otros materiales que reúnan análogas condiciones de eficacia.

En todo caso, los encofrados serán colocados y fijados en su posición bajo la responsabilidad del Contratista. En obras de fábrica ordinarias no se admitirán errores de replanteo superiores a cuatro centímetros (4 cm.) en planta, ni a dos (2) centímetros en altura y se exigirá que las superficies interiores sean lo suficientemente lisas para que el hormigón terminado no presente defectos, resaltos o rebabas de más de ocho (8) milímetros.

El desencofrado no se efectuará en caso alguno antes de que el hormigón haya adquirido resistencia suficiente para que la obra no resulte dañada con dicha operación. Los paramentos de hormigón quedarán lisos y con buen aspecto.

Podrán emplearse productos desencofrantes a propuesta del Contratista.

El precio señalado para esta unidad en el Cuadro de Precios, incluye los materiales y ejecución. Igualmente incluye las operaciones de encofrado y desencofrado, limpieza de encofrado para posteriores usos y cualquier otra operación necesaria.

### **2.2.8. Armaduras de acero para hormigones.**

La preparación, ejecución y colocación de las armaduras cumplirán las normas de la vigente Instrucción para el proyecto y ejecución de obras de hormigón en masa o armado.

### **2.2.9. Tratamientos superficiales mediante riegos.**

El riego se ejecutará cuando la temperatura ambiente, a la sombra y la de la superficie sea superior a diez grados centígrados (10°C), y no exista fundado temor de precipitaciones atmosféricas, debiendo suspenderse los trabajos cuando la temperatura descienda por debajo de dicho límite.

Cuando sea necesario que circule el tráfico sobre la capa imprimida y para ello se haya efectuado la extensión del árido de cobertura, deberá prohibirse la acción de todo tipo de tráfico, por lo menos durante las cuatro horas (4h) siguientes a la extensión del árido y preferentemente durante las veinticuatro horas (24h) que sigan a la aplicación del ligante, plazo que define su periodo de absorción. La velocidad máxima de los vehículos deberá reducirse a treinta kilómetros por hora (30 Km / h).

#### **2.2.9.1. Preparación de la superficie existente.**

Se comprobará que la superficie sobre la que se va a efectuar el riego cumple las condiciones especificadas para la unidad de obra correspondiente y no se halle reblandecida por un exceso de humedad.

Cuando la superficie sobre la que se va a efectuar el riego se considere en condiciones aceptables, inmediatamente antes de proceder a la extensión del ligante elegido, se limpiará la superficie que vaya de recibirlo, de polvo, suciedad, barro seco, materia suelta o que pueda ser perjudicial, utilizando para ello barredoras mecánicas o máquinas sopladoras.

En los lugares inaccesibles a los equipos mecánicos se utilizarán escobas de mano. Se cuidará especialmente de limpiar los bordes exteriores de la zona a tratar; sobre todo junto a eventuales acopios de áridos, que deberán ser retirados, si es preciso, antes del barrido, para no entorpecerlo y evitar su contaminación.

### **2.2.9.2. Aplicación del ligante.**

Antes de que se realice la extensión del ligante bituminoso, la superficie de la capa a tratar deberá regarse ligeramente con agua, empleando la dotación que humedezca la superficie suficientemente, sin saturarla, para facilitar la penetración posterior del ligante.

La aplicación del ligante elegido, se hará cuando la superficie mantenga aún cierta humedad, con la dotación y a la temperatura aprobadas por el Director. La aplicación se efectuará de manera uniforme, evitando la duplicación de la dotación en las juntas de trabajo transversales. Para ello, se colocarán tiras de papel, u otro material, bajo los difusores, en aquellas zonas de la superficie donde comience o se interrumpa el trabajo, con objeto de que el riego pueda iniciarse o terminarse sobre ellos, y los difusores funcionen con normalidad sobre la zona a tratar.

Se protegerán, para evitar mancharlos de ligante, cuantos elementos constructivos o accesorios puedan sufrir este efecto.

### **2.2.9.3. Extensiones del árido.**

Cuando se estime necesaria la aplicación del árido de cobertura, su extensión se realizará de manera uniforme, con la dotación aprobada por el Director.

La distribución del árido por medios mecánicos, se efectuará de manera que se evite el contacto de las ruedas con el ligante sin cubrir.

Cuando la extensión del árido se haya de efectuar sobre una franja imprimida, sin que lo haya sido la franja adyacente, el árido se extenderá de forma que quede sin cubrir una banda de unos 20cm , de la zona tratada, junto a la superficie que todavía no lo haya sido; con objeto de que se pueda conseguir el ligero solapo en la aplicación del ligante al que se ha hecho referencia en el apartado anterior.



### 2.2.10. Morteros.

Se definen los morteros de cemento como la masa constituida por el árido fino, cemento y agua. Eventualmente puede contener algún producto de adición para mejorar sus propiedades, cuya utilización deberá haber sido previamente aprobada por el Ingeniero Director.

Se utilizarán los materiales adecuados a los diferentes usos teniendo en cuenta la compatibilidad de los aglomerantes de acuerdo con la norma UNE 41.123. Se establecen los siguientes tipos y dosificaciones de morteros de cemento Portland :

- **MH1** para fábricas de ladrillo y mampostería ordinaria. 250 kg de cemento P-350 por metro cúbico de mortero (250 kg/m<sup>3</sup>).
- **MH2** para fábricas de ladrillos especiales y enfoscados. 400 kg/m<sup>3</sup> de cemento P-350.
- **MH3** para enlucidos, bruñidos en cuna y hastiales de colectores, 700 kg/m<sup>3</sup> de cemento P-350.

La arena cumplirá las condiciones señaladas en la vigente Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado. El amasado será mecánico, y cuando así no se pueda, se confeccionará sobre superficie impermeable y lisa. Se mezclará la arena con el cemento antes de verter el agua, continuando el batido, después de echar éste en la forma y cantidad necesaria para obtener una pasta homogénea de color y consistencia uniforme, sin grumos. La cantidad de agua se determinará previamente según lo requieran los componentes, el estado de la atmósfera y el destino del mortero. La consistencia de éste será blanda, pero sin que al amasar una bola con la mano refluya entre los dedos.

### **2.2.11. Fábrica de ladrillo.**

Los ladrillos se colocarán según el aparejo indicado en los Planos o, en su defecto, el que indique el Ingeniero Director. Antes de colocarlos se mojarán perfectamente en agua. Se colocarán de plano sobre la capa de mortero, y apretándolos para conseguir el espesor de junta deseado.

La subida de la fábrica se hará a nivel, evitando asientos desiguales. Después de una interrupción, al reanudarse el trabajo se regará abundantemente la fábrica, se barrerá, y se sustituirá, empleando mortero nuevo, todo el ladrillo deteriorado.

No se ejecutarán fábricas de ladrillo cuando la temperatura ambiente sea de 6° C, con tendencia a decrecer. En tiempo caluroso, la fábrica se rociará frecuentemente con agua, para evitar la desecación rápida del mortero.

### **2.2.12. Enlucido.**

Sobre el ladrillo y mampostería se ejecutarán embebiendo previamente de agua la superficie de la fábrica. Los enlucidos sobre hormigones se ejecutarán cuando éstos estén todavía frescos, rascando previamente la superficie para obtener una buena adherencia. Al tiempo de aplicar el mortero a la superficie que se enluzca se hallará esta húmeda, pero sin exceso de agua que pudiera lavar los morteros.

El enlucido deberá hacerse en general en una sola capa, arrojándole mortero sobre la superficie a enlucir, de modo que quede adherido a ella, alisándolo después convenientemente, presionando con fuerza con paleta de madera.

Los enlucidos se mantendrán húmedos por medio de riegos muy frecuentes durante el tiempo necesario, para que no sea de temer la formación de grietas por desecación.

### **2.2.13. Obras de albañilería.**

Se refiere este artículo a la ejecución de paredes de bloques, enfoscados, pinturas, alicatados, solados y demás obras de albañilería. La realización de estos trabajos se hará con arreglo a las Normas Tecnológicas de la Edificación del ministerio de la Vivienda y a todas las que en el momento de las obras, resulten de aplicación.

### **2.2.14. Otras fábricas y trabajos.**

En la ejecución de otras fábricas y trabajos para los cuales no existiesen prescripciones consignadas explícitamente en este Pliego, el Contratista se atenderá en primer término a lo que sobre ello se detalle en los Planos y Presupuesto, y en segundo a los pliegos o normas oficiales que sean aplicables en cada caso.

## **2.3 Condiciones que deben cumplir los equipos.**

### **2.3.1 Instalaciones de conducción de fluidos.**

#### **2.3.1.1 Tuberías y piezas para conductores.**

Se refiere este capítulo a la instalación de los tubos y juntas, conducciones, etc. Dichos elementos cumplirán las prescripciones recogidas en el bloque 2.1 de este Pliego.

#### **2.3.1.2 Transporte y manipulación.**

En general los elementos de las tuberías se manipularán, desde su carga en fábrica hasta la descarga en obra, evitando choques y caídas o cualquier acción o movimiento que pueda suponer un golpe de importancia.

Los tubos se colocarán en general en posición horizontal y paralelamente a la dirección longitudinal del medio de transporte.

Los tubos han de separarse entre sí, siempre que sea posible, y de las paredes del medio de transporte, mediante un adecuado almohadillado. Se recomienda sujetar sobre el vehículo, con un suplemento de madera, los tubos situados en los lados longitudinales del mismo, especialmente si se trata de largos recorridos o trayectos malos.

Los tubos han de depositarse cuidadosa y lentamente sobre el suelo, a ser posible por medio de aparatos elevadores con ganchos apropiados para tubos. En caso de que no se disponga de estos aparatos, los tubos pueden ser depositados a mano. Se procurará que los tubos no rueden sobre superficies que puedan producir impacto en su rodadura, protegiéndose mediante la ayuda de carriles o maderos sobre los que se procederá al transporte. Se prohíbe expresamente la descarga de tubos tirándolos al suelo desde el vehículo que los ha transportado, aunque se interponga un cuerpo blando.

Tanto en el transporte como en el almacenamiento de los tubos, se fijará el número de capas de ellos que se pueden apilar.

Previamente a su montaje en el fondo de la zanja, los elementos se situarán a lo largo del borde de la misma, opuesto al borde en el que se hallen los productos de la excavación, de tal modo que resulten protegidos. Se procurará que los cambios de emplazamiento, habido entre la llegada de los materiales a obra y su distribución a lo largo de la zanja, sean los mínimos necesarios.

Los tubos no deberán almacenarse por un período de tiempo bajo condiciones que puedan causar considerables diferencias de temperatura entre sus superficies interna y externa, heladas, malas condiciones de apoyo, etc, que sean perjudiciales para el tubo.

Si fuese necesario, en tiempo caluroso y seco, almacenar los tubos de hormigón en los sitios de empleo de más de diez (10) días de antelación a la colocación de los mismos, se protegerán éstos por medios eficientes y aplicación de agua.

### **2.3.1.3 Montajes.**

No se iniciará el montaje sin que el Director de Obra haya dado el visto bueno a la caja de la excavación y al lecho portante de arena u hormigón, ejecutados con arreglo a lo indicado en este Capítulo. Entre las excavaciones de la zanja y el montaje de la tubería no transcurrirán más de tres (3) días.

Los elementos de la tubería se bajarán a la zanja con los medios adecuados según su peso y longitud, para no causarles deterioros perjudiciales y asegurándose, una vez en el fondo, de que en el interior de los tubos no hay tierras ni objetos extraños. Los tubos se centrarán y alinearán perfectamente con sus adyacentes, calzándolos y acodándolos.

Antes de iniciar el relleno de la zanja se contrastará el estado de cotas de las tuberías. Las pendientes, en cada tramo, serán uniformes.

No se iniciará el relleno de la zanja sin que el Director de Obra haya examinado y aprobado el estado de la tubería totalmente montada.

Generalmente no se colocarán más de cien (100) metros de tubería sin proceder al relleno, al menos parcial de la zanja, para protegerlos, en lo posible, de los golpes, variaciones de temperatura y evitar la posible flotación de la tubería en caso de inundación de la zanja. Siempre que sea posible y para evitar la mencionada flotación, se aconseja que la zanja tenga el oportuno desagüe.

Cada vez que se interrumpa la colocación de tubería se taponarán los extremos libres.

La unión entre tubos se realizará mediante la correspondiente junta definida, en el bloque 2.1 del presente Pliego, según sea la tipología de la tubería.

#### **2.3.1.4 Pruebas y ensayos.**

Antes de efectuar las pruebas se pondrá especial interés en comprobar que:

- La tubería está bien apoyada sobre la capa de asiento (espesor mínimo de diez (10) centímetros).
- Los bloques de anclaje están bien contruidos y en buenas condiciones de resistencia.
- Las piezas especiales están perfectamente apoyadas y ancladas.
- El relleno de la zanja está a una altura mínima adecuada por encima del eje de la tubería en función de su diámetro.

El tramo a probar estará lleno de agua por lo menos 24 horas antes de comenzar las pruebas de presión. Se procurará que todo el tramo expulse el aire que pueda contener.

A medida que avance el montaje de la tubería se procederá a la prueba de estanqueidad por tramos, cuya longitud depende de factores muy diversos, siendo aconsejable que estos tramos sean los comprendidos entre dos arquetas sucesivas o dos puntos singulares del trazado de la tubería.

La mencionada prueba se realizará sobre toda la tubería antes o después del terraplenado, de una sola vez por tramos, o solamente sobre un determinado número de los mismos, de acuerdo con la que indique la Dirección de Obra.

El tramo de ensayo se cerrará por ambos extremos mediante sendas culatas que se sujetarán por medio de macizos de anclaje o refiriendo el empuje al resto de la tubería o preferentemente al terreno. Se llenará de agua lentamente dicho tramo dejando abiertos todos los elementos que puedan dar salida al aire. A ser posible se dará entrada al agua por la parte baja del tramo. En esta zona se colocará la bomba para la presión hidráulica, que puede ser manual o mecánica y deberá estar provista de elementos de regulación y medición de la presión.

La presión de la prueba de estanqueidad en el tramo ensayado será igual a la presión máxima de trabajo. La pérdida a lo largo del tramo se define como la cantidad de agua que debe suministrarse al tramo de tubería de prueba para mantener la presión de trabajo. La duración de la prueba será de dos (2) horas y no se admitirán durante este tiempo pérdidas superiores al valor dado por la fórmula:

$$V = \phi \cdot L$$

Siendo:

- $V$  = pérdida máxima admisible, en litros;
- $\phi$  = diámetro interior de la tubería en metros;
- $L$  = longitud del tramo objeto de la prueba, en metros;

Tampoco se admitirán pérdidas de agua localizadas apreciables, aunque la cantidad total de la pérdida sea inferior al valor anterior.

El Contratista proporcionará, a petición del Director de Obra, los elementos precisos para la realización de todas estas pruebas y, en caso de que el resultado de las mismas no fuera satisfactorio, vendrá obligado a reparar o sustituir todos los tubos, juntas y piezas especiales defectuosos.

En tuberías a presión se realizarán las pruebas de tubería instalada preceptivas del Pliego de Prescripciones Técnicas generales para tuberías de abastecimiento de agua, aprobada por Orden de 28 de julio de 1974.

Se incluirán en el precio la parte proporcional de juntas, no se incluyen las piezas especiales como codos o piezas en "T".

### **2.3.2 Instalaciones eléctricas.**

Se refiere este artículo a la ejecución de las instalaciones eléctricas necesarias para Instalaciones Eléctricas de Baja Tensión, a las Instrucciones Complementarias del mismo y a la Norma Tecnológica de la Edificación de Instalaciones Eléctricas de Baja Tensión (NTE-IEB).

Estos trabajos se ajustarán al Reglamento del Ministerio de Industria para Instalaciones Eléctricas de Baja Tensión, a las Instrucciones Complementarias del mismo y a la Norma Tecnológica de la Edificación de Instalaciones Eléctricas de Baja Tensión (NTE-IEB).

El Contratista someterá a la aprobación del Director de Obra los planos de detalle de las instalaciones propuestas, justificando que en cada caso resultan válidas para las necesidades correspondientes.

#### **2.3.2.1 Conductores de las líneas eléctricas.**

El calibre o sección del cableado será siempre el adecuado para la carga eléctrica que ha de soportar. Los hilos tendrán la funda protector aislante sin defectos apreciables.

La distribución general desde el cuadro general de obra a los cuadros secundarios, se efectuará mediante manguera eléctrica antihumedad. El tendido de los cables para cruzar viales de obra, se efectuará enterrado.



Los empalmes entre mangueras siempre estarán elevados. Se prohíbe mantenerlos en el suelo.

Se intentará evitar los empalmes aunque sean antihumedad. Los empalmes provisionales entre mangueras, se efectuarán mediante conexiones normalizadas estancos antihumedad. Los empalmes definitivos se ejecutarán utilizando cajas de empalmes normalizados estancos de seguridad.

### **2.3.2.2 Interruptores.**

Se ajustarán expresamente, a los especificados en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión. Los interruptores se instalarán en el interior de cajas normalizadas, provistas de puerta de entrada con cerradura de seguridad. Las cajas de interruptores poseerán adherida sobre su puerta una señal normalizada de “peligro, electricidad”. Las cajas de interruptores serán colgadas, bien de los paramentos verticales, bien de “pies derechos” estables.

### **2.3.2.3 Cuadros eléctricos.**

Serán metálicos de tipo para la intemperie, con puerta y cerraja de seguridad (con llave), según norma UNE 20324. Pese a ser de tipo para la intemperie, se protegerán del agua de lluvia mediante viseras eficaces como protección adicional.

Los cuadros eléctricos metálicos tendrán la carcasa conectada a tierra. Poseerán adherencia sobre la puerta una señal normalizada de “peligro, electricidad”.

Los cuadros eléctricos poseerán tomas de corriente para conexiones normalizadas blindadas para intemperie. Los cuadros eléctricos de esta obra, estarán dotados de enclavamiento eléctrico de apertura.

Las tomas de corriente de los cuadros se efectuarán de los cuadros de distribución, mediante clavijas normalizadas blindadas. Cada toma de corriente suministrará energía eléctrica a un solo aparato, máquina o máquina-herramienta. La tensión siempre estará en la clavija “hembra”, nunca en la “macho”, para evitar los contactos eléctricos directos. Los cuadros eléctricos de distribución, se ubicarán siempre en lugares de fácil acceso.

#### **2.3.2.4 Protección de los circuitos.**

La instalación poseerá todos aquellos interruptores automáticos que el cálculo defina como necesarios. Los circuitos generales estarán también protegidos con interruptores. Toda la maquinaria eléctrica estará protegida con interruptores. Todas las líneas estarán protegidas por un disyuntor diferencial. Los disyuntores diferenciales se instalarán de acuerdo con las siguientes sensibilidades:

- 300mA.- ( según R.E.B.T) - Alimentación a la maquinaria.
- 30mA.- (según R.E.B.T.) - Alimentación a la maquinaria como mejora del nivel de seguridad.
- 30mA.- Para las instalaciones eléctricas de alumbrado no portátil.

#### **2.3.2.5 Tomas de tierra.**

Las partes metálicas de todo equipo eléctrico dispondrán de toma de tierra. El neutro de la instalación estará puesto a tierra. La toma de tierra se efectuará a través de la pica. El hilo de toma de tierra, siempre estará protegido con macarrón en colores amarillo y verde.

## **2.3.2.6 Instalaciones de alumbrado.**

### **2.3.2.6.1 Distribución de puntos de luz.**

Para la distribución en planta de los puntos de luz, se reforzará su presencia en curvas y cruces. La distribución de luminarias es unilateral. Los puntos de luz deben situarse en la parte exterior de la curva, disponiéndose un punto de luz en la prolongación de los ejes de circulación. La separación entre puntos de luz deberá ser tanto menor cuanto mayor sea el radio de curvatura.

### **2.3.2.6.2 Lámparas.**

Las lámparas serán de vapor de sodio a alta presión. Constituida por un casquillo y ampolla ovoide o tubular clara, con tubo de descarga de óxido de aluminio sinterizado, que en su interior lleva sodio, mercurio y un gas inerte, así como dos electrodos con casquillo de rosca del tipo E-40.

Será del tipo II, con un rendimiento mayor o igual al 65 % o del 55 % según esté equipado de lámparas claras u opal. Tendrá fotometría regulable o fija y la carcasa podrá ser de aleación de aluminio, poliéster u otras materias. El sistema óptico podrá ser abierto o cerrado con equipo auxiliar incorporado y podrá llevar filtro para el caso de cerrado. Por su seguridad eléctrica estará clasificado como clase 1.

Atendiendo a las características fotométricas, según clasificación CIE que figura en la publicación nº 34, se indicará por el fabricante:

- El alcance en función de la extensión del haz, que será corto intermedio o largo.
- La dispersión en función de la extensión del haz, estrecho medio o ancho.

- En función del control del deslumbramiento, molesto, limitado, moderado o intenso.

#### **2.3.2.6.3 Balastro.**

Dado que la potencia de la lámpara utilizada es de 200 W, el consumo medio por pérdidas en el equipo auxiliar en vatios será igual o inferior a 10.

El cebador cumplirá la norma UNE - 20152 y llevará grabada de forma clara e indeleble las siguientes indicaciones:

- Marca.
- Modelo y esquema de conexión con las indicaciones para una utilización correcta de los bornes conductores del exterior del balastro.
- Tipo de lámpara, tensión, frecuencia, corriente nominal de alimentación y factor de potencia.

#### **2.3.2.6.4 Condensador.**

Podrá ser independiente o formar unidad con el balastro. Estará capacitado para elevar el factor de potencia hasta el 85% como mínimo. La capacidad media en microfaradios ( $\mu\text{F}$ ), para una potencia nominal de 200W de la lámpara y para una tensión de alimentación de 220 V, será de 30  $\mu\text{F}$ .

Llevará grabadas de forma clara e indeleble las indicaciones de marca, modelo y esquema de conexión, capacidad, tensión de alimentación, tensión de ensayo cuando ésta sea mayor de 1,3 veces la nominal, tipo de corriente para la que está previsto y temperatura máxima de funcionamiento.

#### **2.3.2.6.5 Fusible.**

Constituido por cartucho fusible calibrado en amperios según la potencia del punto de luz. Cumplirá lo establecido en la norma UNE-20520, debiendo llevar grabado el calibre y la tensión de servicio.

#### **2.3.2.6.6 Tabla de conexiones.**

Será de material aislante y provista de alojamiento para los fusibles y de demás para la conexión de cables. En los casos de encendido manual estarán provistas de interruptor.

#### **2.3.2.6.7 Cimentación.**

La cimentación se realiza mediante un dado de hormigón y unos pernos de anclaje, cuyas dimensiones vienen fijadas en función de la altura del punto de luz.

### **2.3.3 Especificaciones de los equipos.**

Siempre habrán de instalarse los equipos proyectados. El Contratista entregará dos (2) copias de los Manuales de Instrucciones de los equipos instalados, cuyo contenido será como mínimo el siguiente:

- Descripción de los equipos.
- Características nominales.
- Composición y características de los materiales.
- Principios e instrucciones de operación.
- Lista de componentes.
- Instrucciones de mantenimiento.
- Lista de repuestos.

## ÍNDICE DEL PRESUPUESTO

1. OBJETIVO DEL PRESUPUESTO	1
2. PRESUPUESTOS PARCIALES	2
2.1. OBRA CIVIL	2
2.2. EQUIPOS	2
2.2.1. DESBASTE DE SÓLIDOS	2
2.2.2. DESARENADOR – DESENGRASADOR	2
2.2.3. REACTOR BIOLÓGICO	2
2.2.4. DECANTADOR SECUNDARIO	3
2.2.5. BOMBEO, SOPLANTE Y CUADRO DE CONTROL	3
2.3. CONEXIÓN DE EQUIPOS	3
2.3.1. ALIMENTACIÓN BRUTA	3
2.3.2. LÍNEA DE LA ALIMENTACIÓN COMBINADA Y SALIDA AL REACTOR	3
2.3.3. DESCARGA DEL CLARIFICADOR	4
2.3.4. LÍNEA DE LA PURGA	4
2.3.5. LÍNEA DE LA RECIRCULACIÓN	4
2.3.6. LÍNEA DE AIRE DEL DESARENADOR	4
3. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL	5
4. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA	6

# **PRESUPUESTO GENERAL**

## **1. OBJETIVO DEL PRESUPUESTO**

El objetivo de este documento no es más que presentar el Presupuesto General del Diseño de una Estación Depuradora de Aguas Residuales en el municipio de Medina Sidonia (Cádiz).

Para llegar al valor del Presupuesto Final, se presenta el Presupuesto de Ejecución Material (P.E.M.), donde se muestra la obra civil, los equipos y los elementos de conexión.

Seguidamente se presentará el Presupuesto de Ejecución por Contrata (P.E.C.), añadiéndole al P.E.M. el Beneficio Industrial (6%) y los Gastos Generales (13%).

Finalmente, se obtendrá el Presupuesto Total, añadiendo el 16 % correspondiente al I.V.A.

El valor obtenido como Presupuesto Final se ajustará al presupuesto real de ejecución del proyecto, pero teniendo en cuenta un margen del 20 %, tanto por exceso como por defecto.

## 2. PRESUPUESTOS PARCIALES

### 2.1. OBRA CIVIL

<i>Descripción</i>	<i>Unidades</i>	<i>Precio unitario (euros /m<sup>3</sup>)</i>	<i>Precio Total (euros)</i>
Desbaste de sólidos (m <sup>3</sup> excavados)	0.25	11,48	2.87
Acondicionamiento del desarenador (m <sup>3</sup> excavados)	10	11,48	114.8
Reactor biológico (m <sup>3</sup> excavados)	2600	11,48	29848
Decantador secundario (m <sup>3</sup> excavados)	450	11,48	5166
TOTAL			35131,67

### 2.2 EQUIPOS

#### 2.2.1 Desbaste de sólidos

<i>Descripción</i>	<i>Unidades</i>	<i>Precio unitario (euros)</i>	<i>Precio Total (euros)</i>
Arqueta con reja de desbaste automático	1	3827,99	3827,99
TOTAL			3827,99

#### 2.2.2 Desarenador – Desengrasador

<i>Descripción</i>	<i>Unidades</i>	<i>Precio unitario (euros)</i>	<i>Precio Total (euros)</i>
Desarenador - desengrasador	1	16057,6	16057,6
Difusores	8	29,58	236,64
Soplante	1	3289,52	3289,52
TOTAL			19583,76

#### 2.2.3 Reactor biológico

<i>Descripción</i>	<i>Unidades</i>	<i>Precio unitario (euros)</i>	<i>Precio Total (euros)</i>
Aireador de superficie 30 Kw	1	5120	5120
Aireador de superficie 20 Kw	1	4355	4355
TOTAL			9475



### 2.2.4 Decantador secundario

<i>Descripción</i>	<i>Unidades</i>	<i>Precio unitario (euros)</i>	<i>Precio Total (euros)</i>
Decantador troncocónico	1	24905,92	24905,92
Bomba de tornillo excéntrico	1	1625,52	1625,52
TOTAL			26531,44

### 2.2.5 Bombeo, soplante y cuadro de control

<i>Descripción</i>	<i>Unidades</i>	<i>Precio unitario (euros)</i>	<i>Precio Total (euros)</i>
Cuadro de control y bombeo	1	12807,86	12807,86
TOTAL			12807,86

## 2.3 CONEXIÓN DE EQUIPOS

### 2.3.1 Alimentación bruta

<i>Descripción</i>	<i>Unidades</i>	<i>Precio unitario (euros / m<sup>3</sup>)</i>	<i>Precio Total (euros)</i>
Canal de sección rectangular	18	11,48	131,76
TOTAL			131,76

### 2.3.2 Línea de la alimentación combinada y salida al reactor

<i>Descripción</i>	<i>Unidades</i>	<i>Precio unitario (euros)</i>	<i>Precio Total (euros)</i>
Tubería de acero inoxidable AISI – 304 (alimentación inicial) DN =180 mm	8	10,7	85,6
Tubería de acero inoxidable AISI – 304 (alimentación inicial) DN =225 mm	3	43,4	130,2
Accesorios (codos)	3	0,75	2,25
TOTAL			218,05

### 2.3.3 Descarga del clarificador

<i>Descripción</i>	<i>Unidades</i>	<i>Precio unitario (euros)</i>	<i>Precio Total (euros)</i>
Tubería de acero inoxidable AISI – 304 (efluente) DN = 180 mm	3	30,4	91,2
Tubería De acero inoxidable AISI – 304 (descarga) DN = 130 mm	3	25,5	76,5
TOTAL			16,77

### 2.3.4 Línea de la purga

<i>Descripción</i>	<i>Unidades</i>	<i>Precio unitario (euros)</i>	<i>Precio Total (euros)</i>
Tubería de acero inoxidable AISI – 304 DN = 32 mm	3	10,7	32,1
TOTAL			32,1

### 2.3.5 Línea de la recirculación

<i>Descripción</i>	<i>Unidades</i>	<i>Precio unitario (euros)</i>	<i>Precio Total (euros)</i>
Tubería de acero inoxidable AISI – 304 DN = 125 mm	39	20,5	799,5
Válvula de bola	1	55,25	55,25
Accesorios (codos, bridas)	10	6,05	60,5
TOTAL			915,25

### 2.3.6 Línea de aire del desarenador

<i>Descripción</i>	<i>Unidades</i>	<i>Precio unitario (euros / m)</i>	<i>Precio Total (euros)</i>
Tubería de acero inoxidable AISI – 304 DN = 50 mm	30	16,7	501
Accesorios	8	5,94	47,52
Válvula de compuerta	6	55,19	331,14
TOTAL			879,66

### 3. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL

Obra civil	35131,67 euros
Equipos	72226,05 euros
Conexión entre equipos	2193,59 euros
Presupuesto por Ejecución Material (P.E.M.)	109551,31 euros

Asciende el **presupuesto de ejecución material** de la “Estación Depuradora de Aguas Residuales para la población de Medina Sidonia, en Cádiz” a la cantidad de CIENTO NUEVE MIL QUINIENTOS CINCUENTA Y UN EUROS CON TREINTA Y UN CÉNTIMOS.

#### **4. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA.**

##### Resumen

Obra civil	35131,67 euros
Reja de desbaste	3827,99 euros
Desarenador – desengrasador	19583,76 euros
Tratamiento biológico	9475,00 euros
Decantador secundario	26531,44 euros
Tuberías, conducciones, cuadro de control	15001,45 euros
<b>TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL</b>	<b>109551,31 euros</b>
13 % Gastos generales	14241,67 euros
6 % Beneficio industrial	6573,08 euros
<b>SUMA TOTAL</b>	<b>130366,93 euros</b>
16 % I.V.A.	20858,71 euros
<b>TOTAL PRESUPUESTO CONTRATA</b>	<b>151225,64 euros</b>
<b>TOTAL PRESUPUESTO GENERAL</b>	<b>151225,64 euros</b>

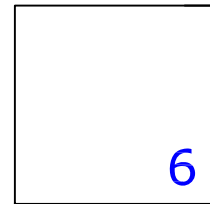
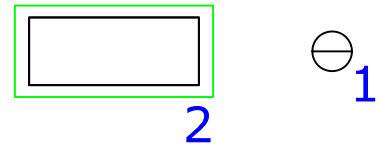
Asciende el presupuesto general a la expresada cantidad de CIENTO CINCUENTA Y UN MIL DOSCIENTOS VEINTICINCO EUROS CON SESENTA Y CUATRO CÉNTIMOS.



Puerto Real, Febrero de 2007

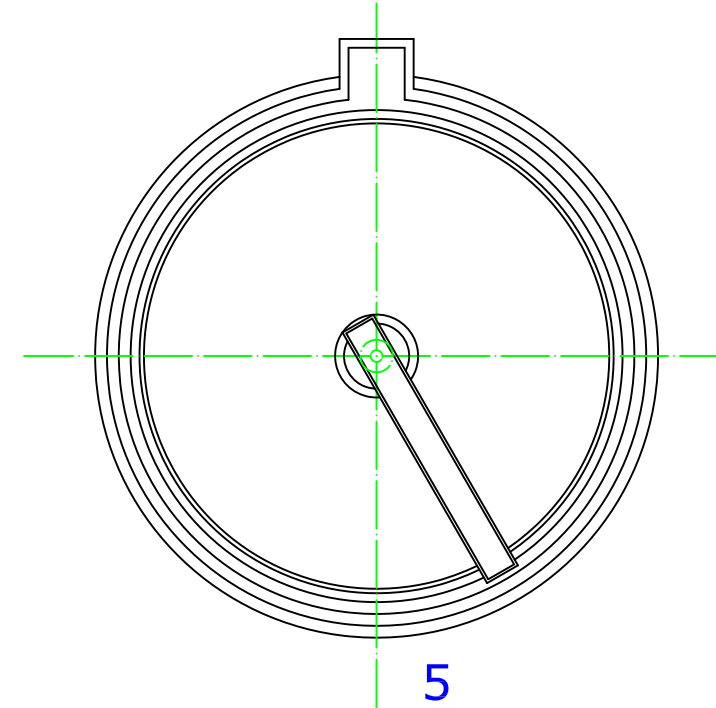
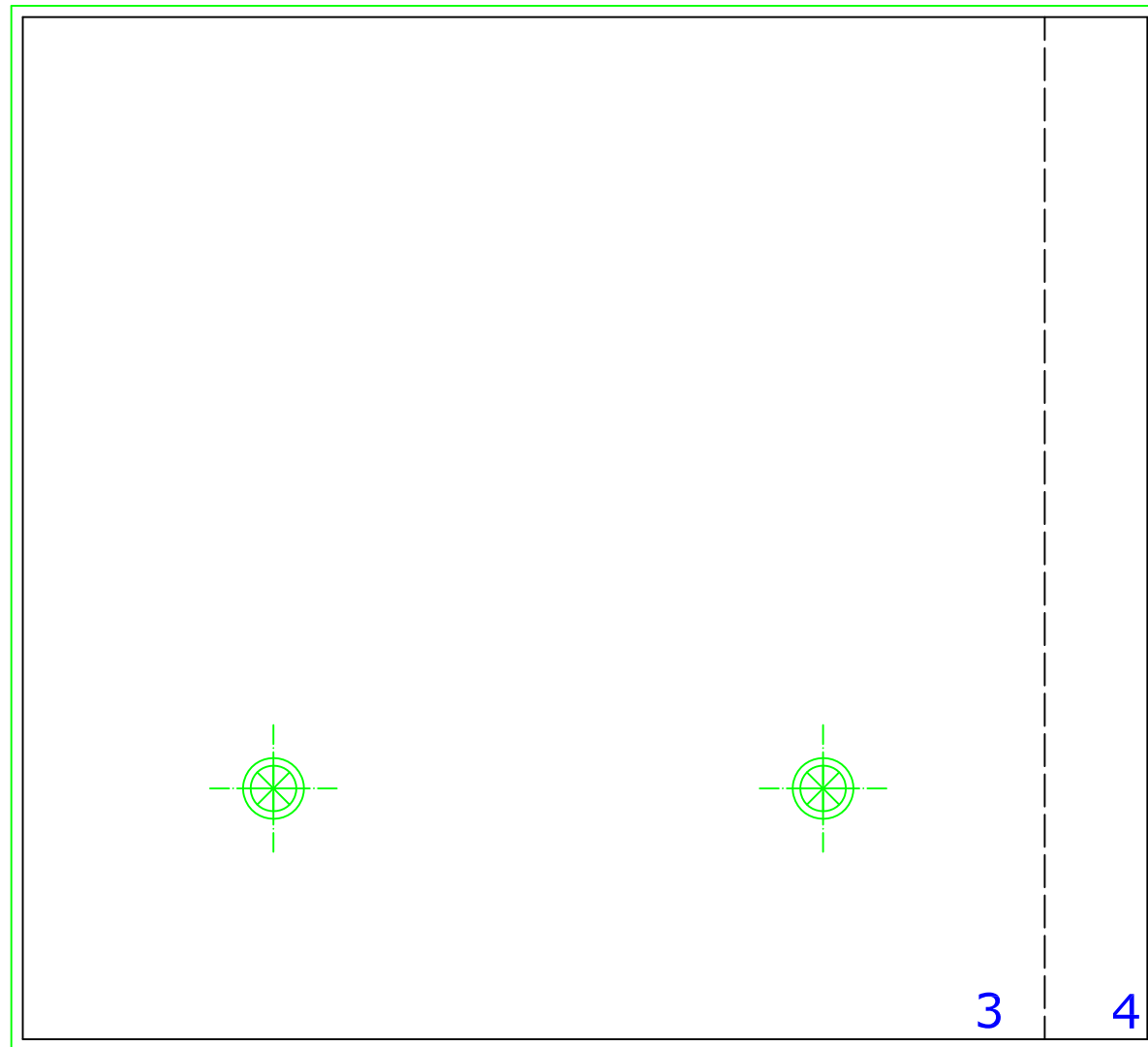
Fdo: Marta Pérez Domínguez

## ÍNDICE DE PLANOS

- Plano nº 1: DISTRIBUCIÓN EN PLANTA**
- Plano nº 2: DISTANCIA ENTRE EQUIPOS**
- Plano nº 3: LÍNEAS DE TRATAMIENTO**
- Plano nº 4: DIAGRAMA DE FLUJO**
- Plano nº 5: DESARENADOR-DESENGRASADOR**
- Plano nº 6: REACTOR BIOLÓGICO**
- Plano nº 7: DECANTADOR SECUNDARIO**



-  BOMBA
-  AIREADOR
- 1. REJA DE DESBASTE
- 2. DESARENADOR - DESENGRASADOR
- 3. REACTOR BIOLÓGICO
- 4. ZONA ANÓXICA
- 5. DECANTADOR SECUNDARIO
- 6. CASETA DE CONTROL Y BOMBEO



## DISEÑO DE UNA EDAR

DISTRIBUCION EN PLANTA

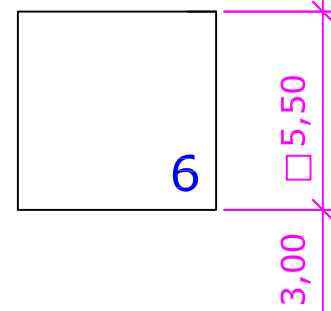
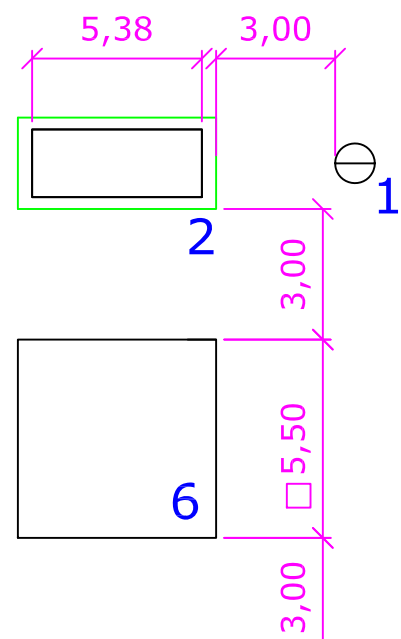
FECHA FEBRERO 2007

PROYECTADO

Marta Pérez Domínguez

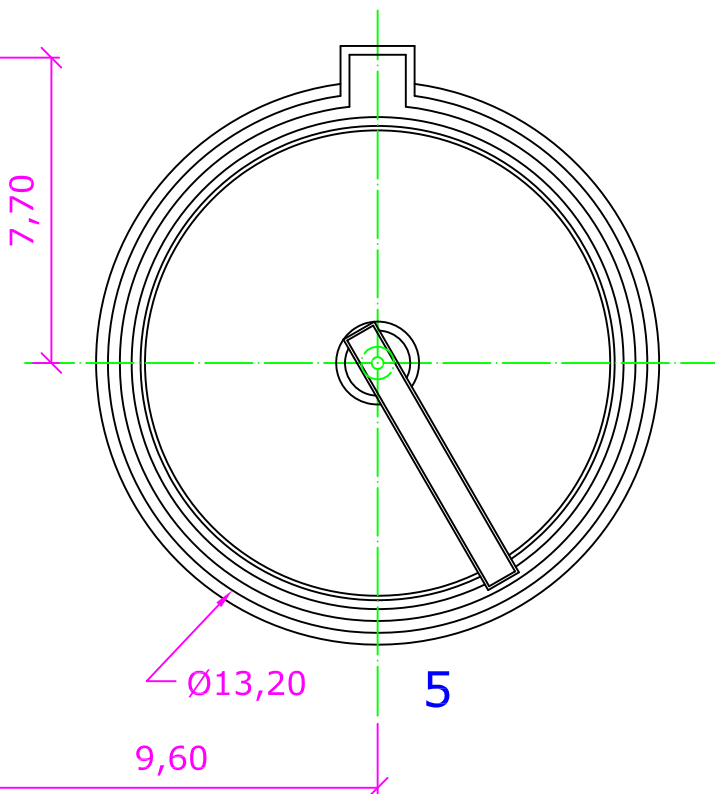
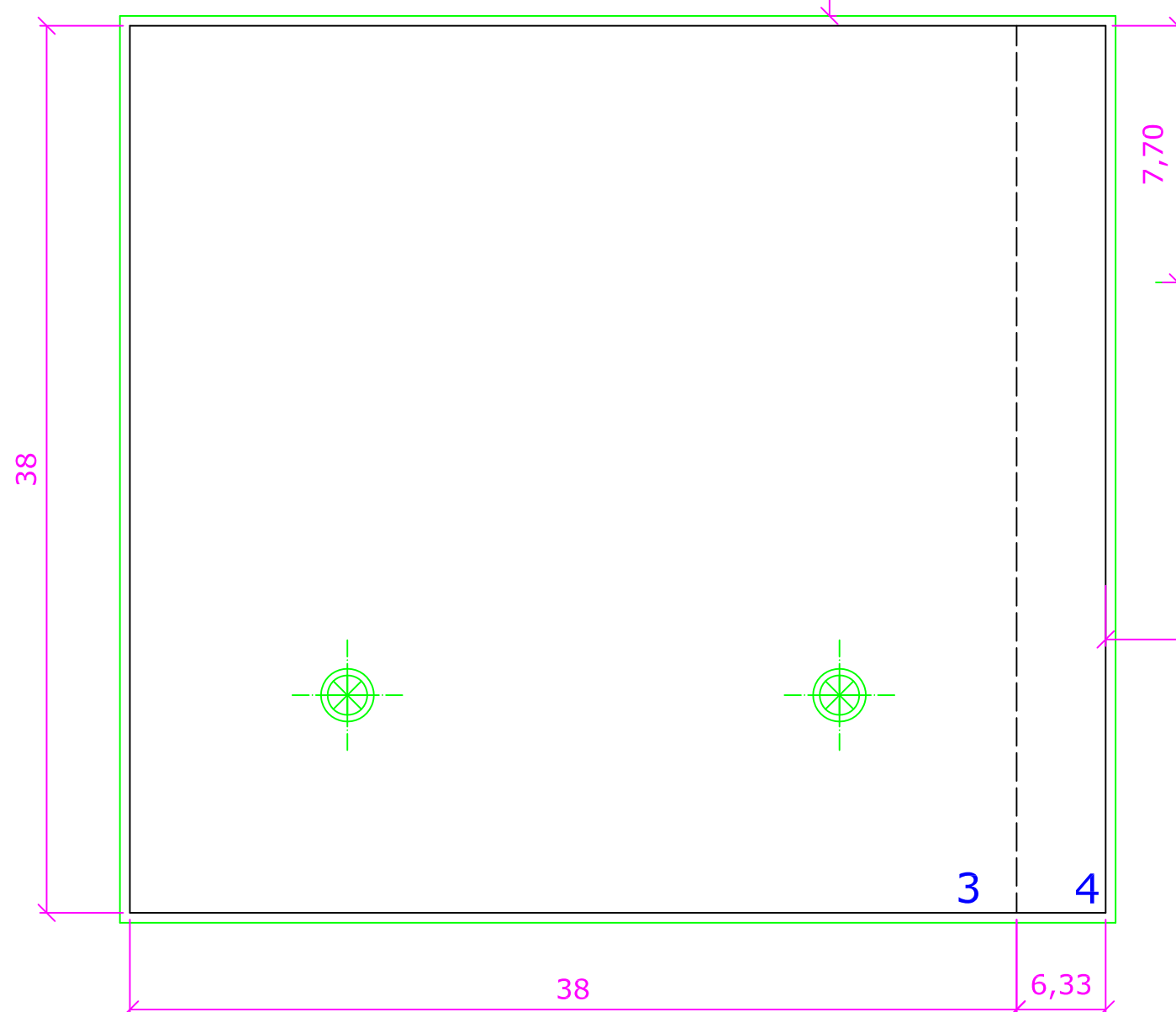
ESCALA 1:200

PLANO Nº 1 / 7



-  BOMBA
-  AIREADOR

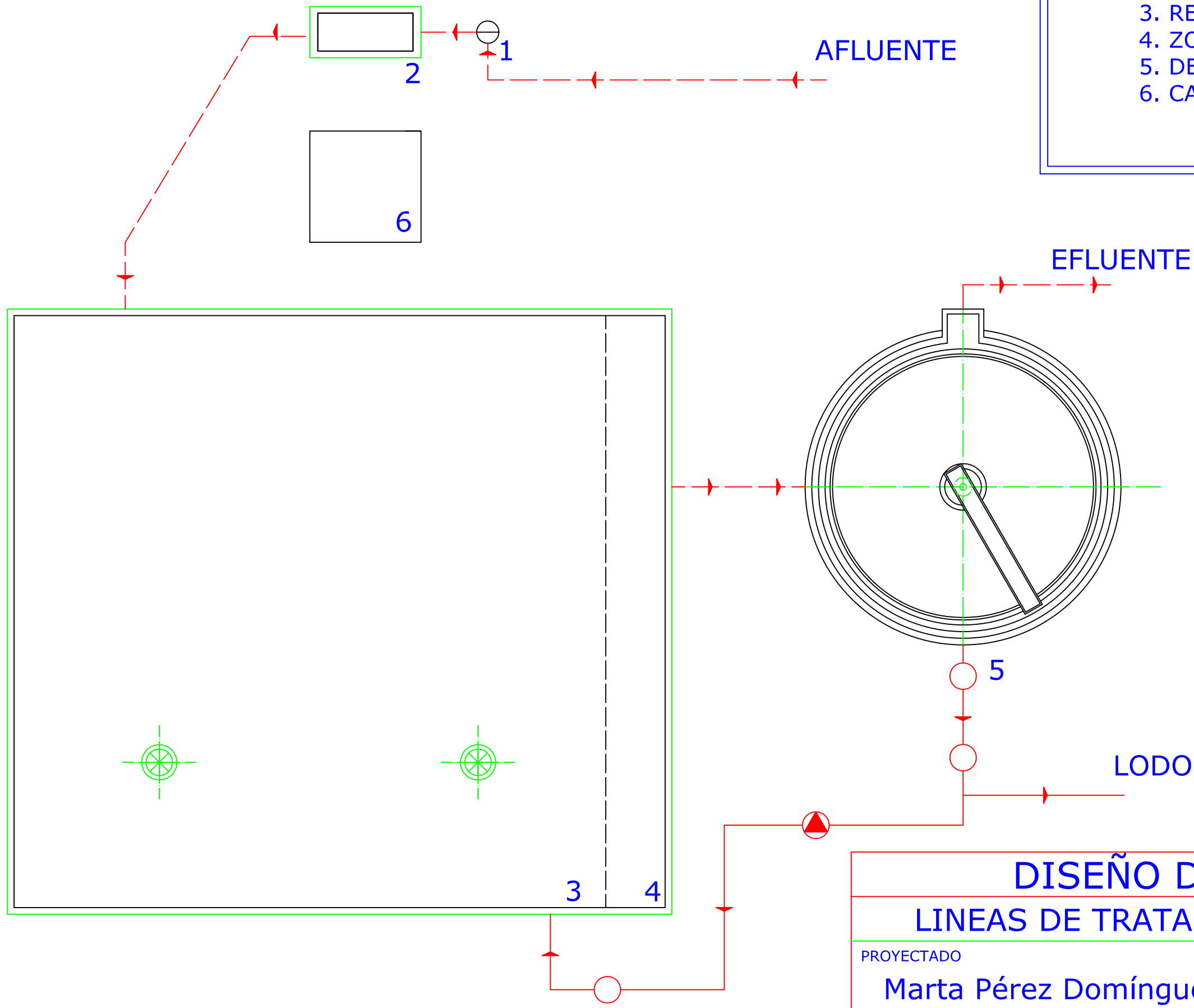
1. REJA DE DESBASTE
2. DESARENADOR - DESENGRASADOR
3. REACTOR BIOLÓGICO
4. ZONA ANÓXICA
5. DECANTADOR SECUNDARIO
6. CASETA DE CONTROL Y BOMBEO



## DISEÑO DE UNA EDAR

DISTANCIA ENTRE EQUIPOS		FECHA	FEBRERO 2007
		ESCALA	1:200
PROYECTADO		PLANO Nº	2 / 7
Marta Pérez Domínguez			

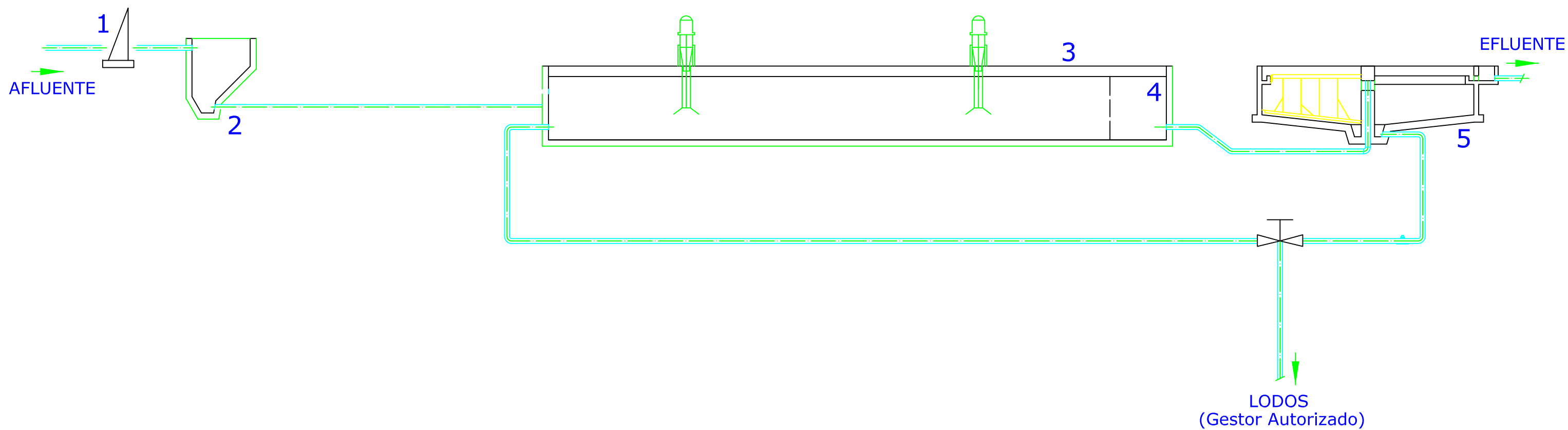
- ▲ BOMBA
- ⊗ AIREADOR
- 1. REJA DE DESBASTE
- 2. DESARENADOR - DESENGRASADOR
- 3. REACTOR BIOLÓGICO
- 4. ZONA ANÓXICA
- 5. DECANTADOR SECUNDARIO
- 6. CASETA DE CONTROL Y BOMBEO



--- LINEA DE AGUA  
 ○ LINEA DE FANGOS

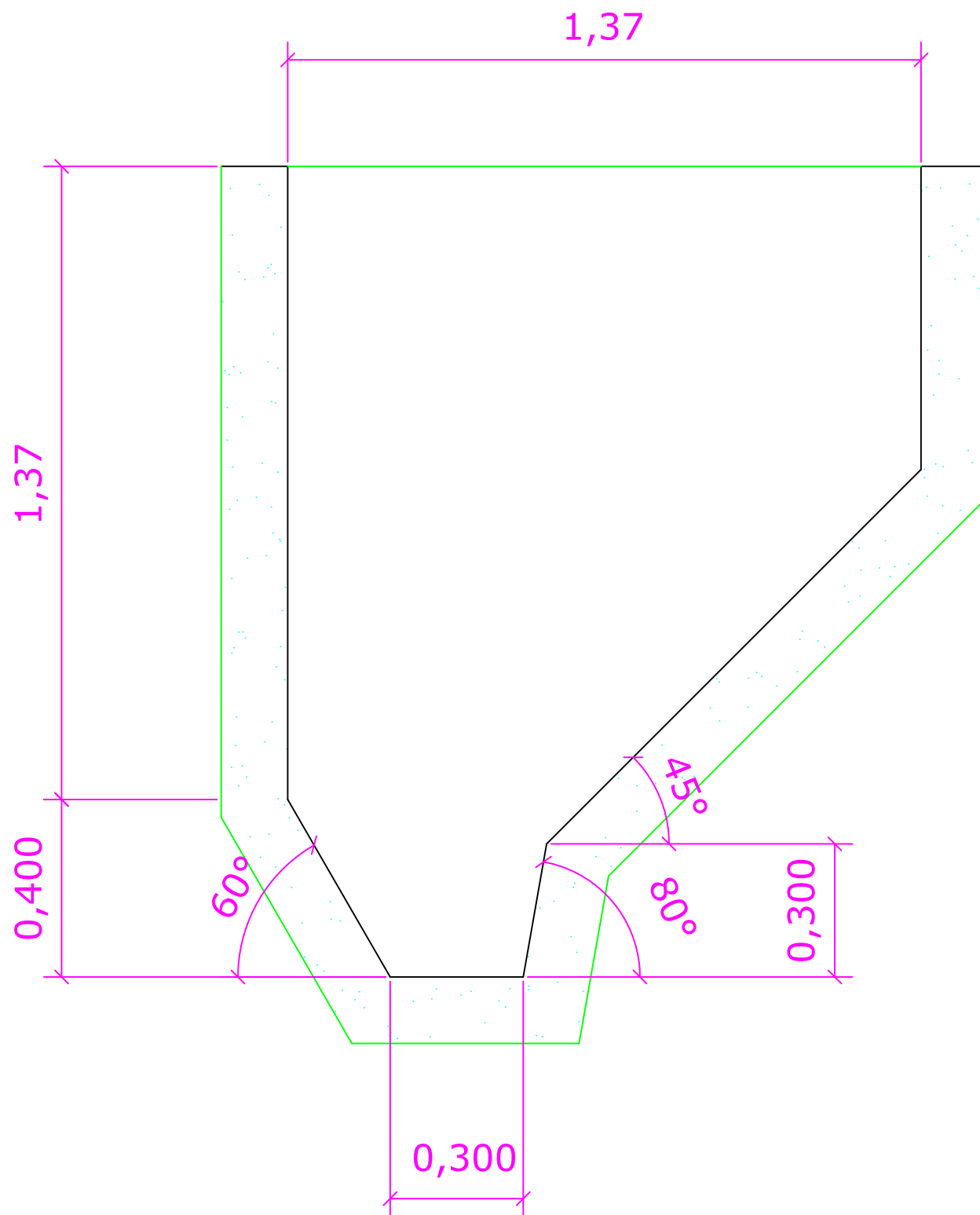
DISEÑO DE UNA EDAR			
LINEAS DE TRATAMIENTO		FECHA	FEBRERO 2007
PROYECTADO	Marta Pérez Domínguez	ESCALA	1:200
		PLANO Nº	3 / 7





- 1. REJA DE DESBASTE
- 2. DESARENADOR - DESENGRASADOR
- 3. REACTOR BIOLÓGICO
- 4. ZONA ANÓXICA
- 5. DECANTADOR SECUNDARIO

<b>DISEÑO DE UNA EDAR</b>	
<b>DIAGRAMA DE FLUJO</b>	
PROYECTADO	FECHA FEBRERO 2007
<b>Marta Pérez Domínguez</b>	ESCALA
	PLANO Nº 4 / 7



# DISEÑO DE UNA EDAR

**DESARENADOR-DESENGRASADOR**

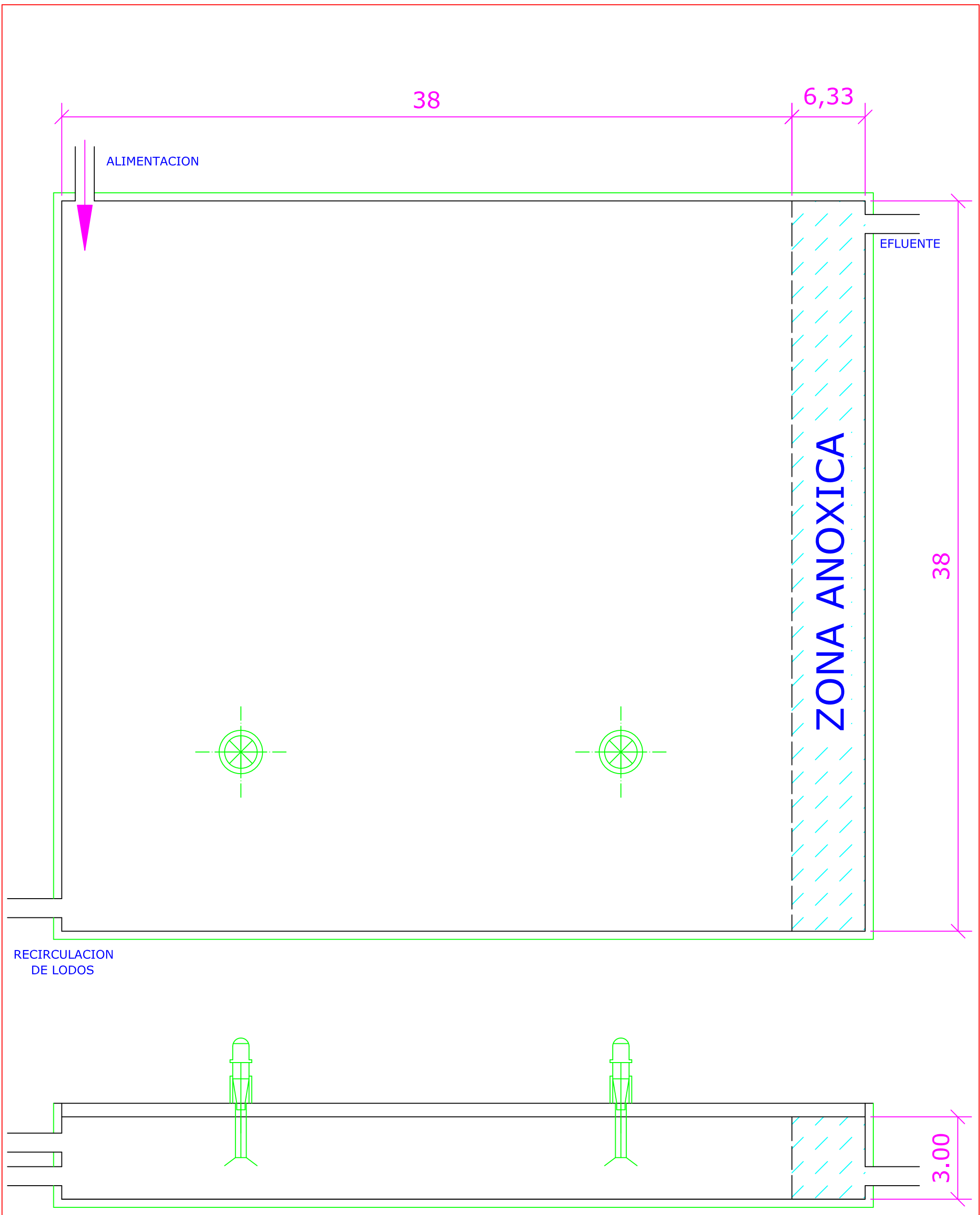
FECHA FEBRERO 2007

PROYECTADO

ESCALA 1:20

**Marta Pérez Domínguez**

PLANO Nº 5 / 7



# DISEÑO DE UNA EDAR

## REACTOR BIOLÓGICO

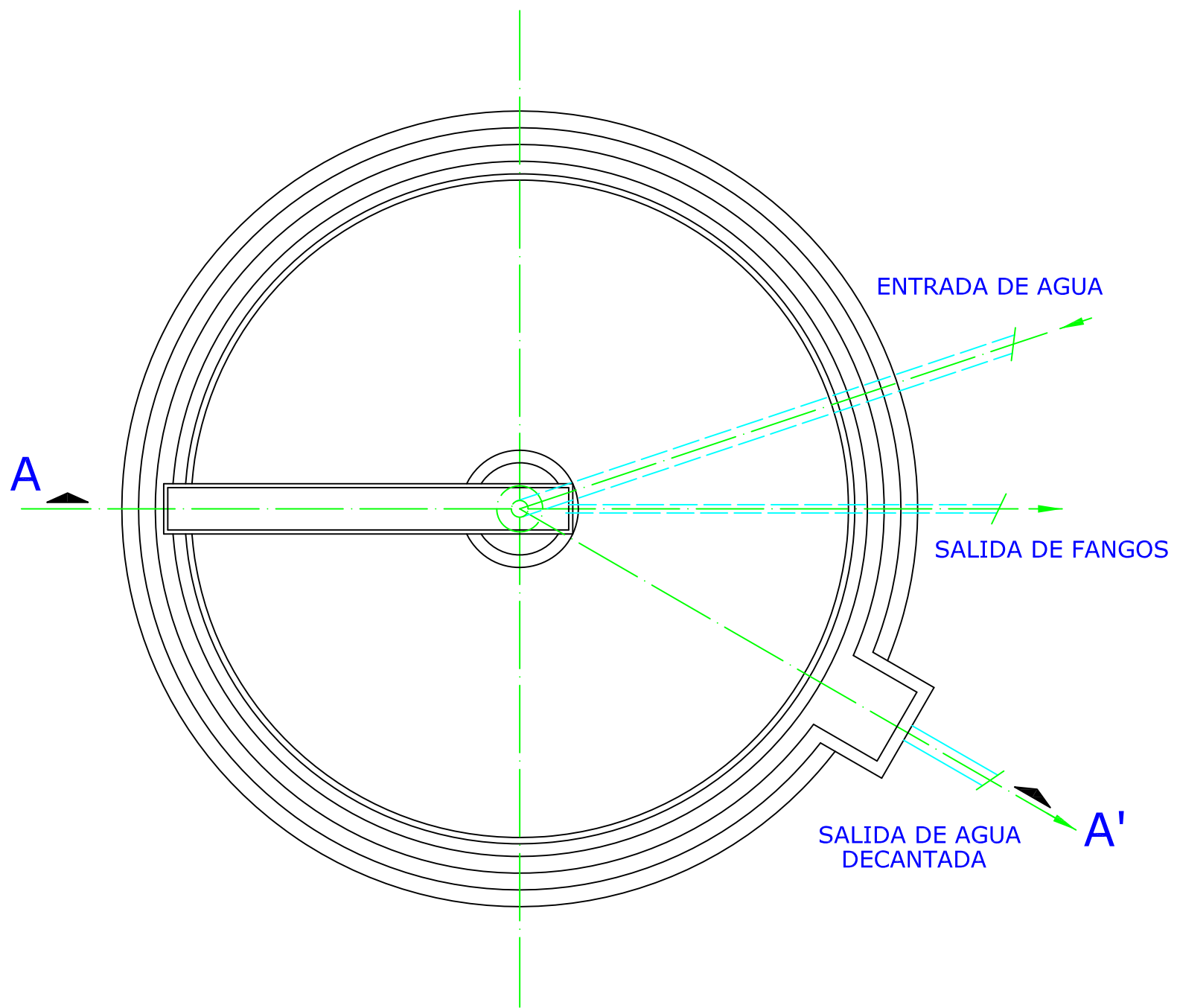
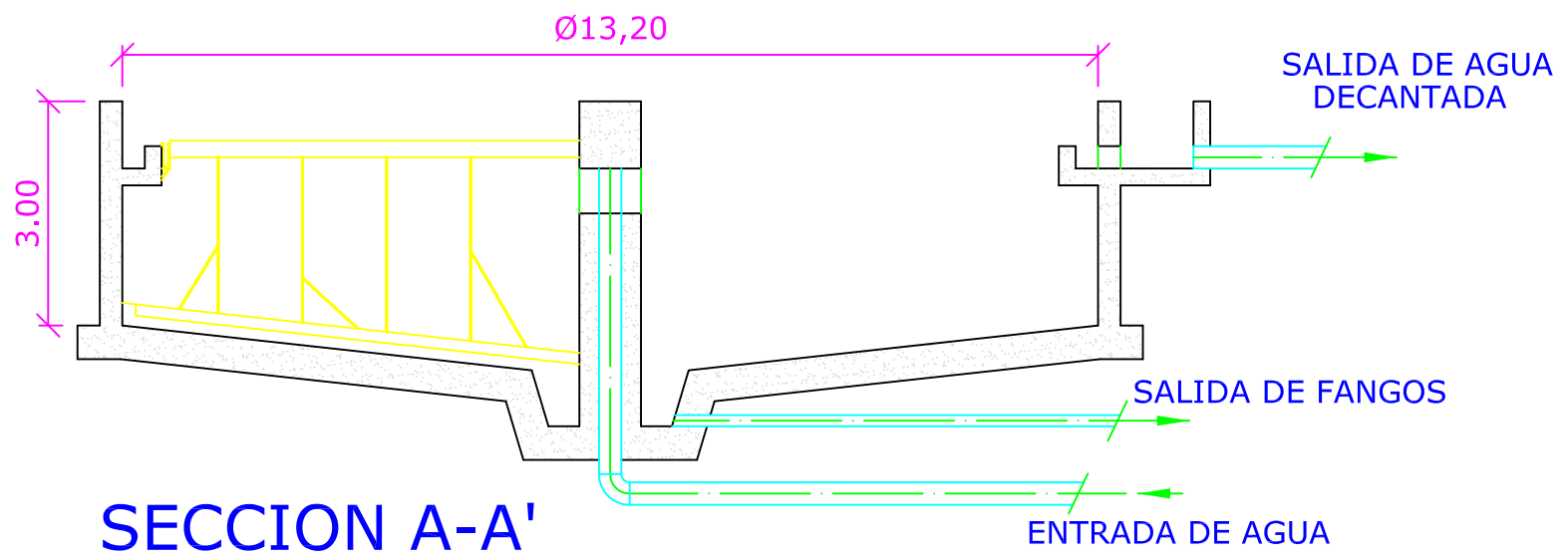
FECHA FEBRERO 2007

PROYECTADO

Marta Pérez Domínguez

ESCALA 1:200

PLANO Nº 6 / 7



# DISEÑO DE UNA EDAR

## DECANTADOR SECUNDARIO

FECHA FEBRERO 2007

PROYECTADO

ESCALA 1:150

Marta Pérez Domínguez

PLANO Nº 7 / 7

