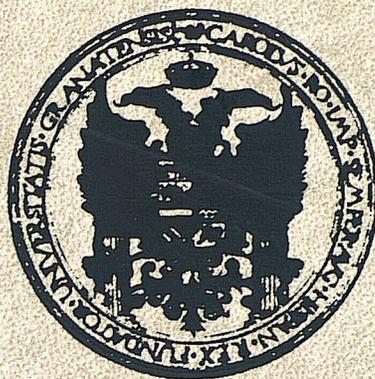


**UNIVERSIDAD DE GRANADA
E.T.S. DE INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS.
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL**



TESIS DOCTORAL

**TOMO I
MEMORIA**

**ESTUDIO COMPARATIVO DE RELLENOS EN SISTEMAS
DE DEPURACIÓN DE LECHOS INUNDADOS**



MONTSERRAT ZAMORANO TORO

**GRADO DE DOCTOR DE INGENIERO DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS**

Granada, Diciembre de 1996

E.T.S. I. CAMINOS

BIBLIOTECA

CDU T 628

AUTOR ZAM

TITULO Est

**UNIVERSIDAD DE GRANADA
E.T.S. DE INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS.
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL**



TESIS DOCTORAL

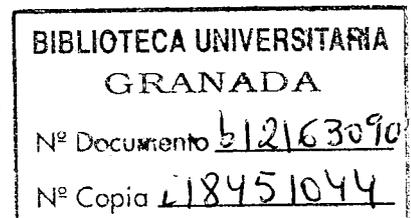
TOMO I
MEMORIA

**ESTUDIO COMPARATIVO DE RELLENOS EN SISTEMAS
DE DEPURACIÓN DE LECHOS INUNDADOS**

Por
MONTSERRAT ZAMORANO TORO
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Para la obtención del
**GRADO DE DOCTOR DE INGENIERO DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS**

Granada, Diciembre de 1996



TESIS DOCTORAL

ESTUDIO COMPARATIVO DE RELLENOS EN SISTEMAS DE DEPURACIÓN DE LECHOS INUNDADOS

Autor

MONTSERRAT ZAMORANO TORO

Director de Tesis

D. ERNESTO HONTORIA GARCIA.
Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

TRIBUNAL CALIFICADOR

PRESIDENTE: D. Aurelio Hernández Muñoz
VOCAL: D. Miguel Angel Gutiérrez Fernández
VOCAL: D. Jesús González López
VOCAL: D. José Rubio Boch
SECRETARIO: D. Manuel Vizcaino Alcalá

Acuerda otorgar la calificación de,

Granada, 13 de Diciembre de 1996

*A mis padres, Antonio y Mari, a
mi marido Miguel y a mi hija
Montse, por el sacrificio que este
trabajo ha supuesto para todos.*

RESUMEN

Se está desarrollando una concienciación general de la necesidad de preservar el medio ambiente, tanto respecto a la calidad de las aguas de vertido, como aspectos cualitativos, impactos visuales, olfativos y auditivos. Por otro lado los déficit de superficies destinadas a instalaciones de depuración, sobre todo en zonas costeras, hace imprescindible ir a tratamientos que ocupen una superficie reducida, y si es posible ir incluso a sistemas cerrados que permitan un posterior aprovechamiento.

La utilización de los filtros biológicos inundados ha permitido conseguir unos altos niveles de depuración, y además cumplir las limitaciones antes indicadas. Este trabajo se van a recoger los resultados de un estudio del comportamiento de distintos materiales como soportes en filtros biológicos inundados.

Los materiales elegidos han sido residuos procedente de distintas actividades humanas:

- "granza" elaborada a partir del reciclado de plásticos de invernadero
- machaqueo de ladrillo procedente de los residuos de una fábrica de ladrillos

Aunque no se ha conseguido optimizar al cien por cien el funcionamiento del sistema con estos materiales, este trabajo ha puesto las bases para futuras líneas de investigación que se indicaran, que perfeccionen el sistema y materiales, y que mejorarán sin duda los resultados obtenidos en esta fase de investigación.

ABSTRACT

There is a general consensus developing for the need to preserve the environment with respect to the quality of waste water -such aspects as visual, olfactory and auditory impacts. On the other hand, the lack of land set aside for the construction of purification plants, especially in coastal areas, necessitates the use of treatments that occupy less land as well as closed systems that permit future use.

The use of submerged biofilters has permitted higher levels of purification but, in addition, has caused the aforementioned limitations. This study shows the results of certain materials functioning as a bed in submerged biofilters.

The materials chosen originate from specific human activity:

- Recycled plastic used to cover crops
- Pulverized brick taken from brick factories

Although the functioning of the system with these materials hasn't improved 100%, this study has opened up a new field of investigation, as indicated, that will perfect the system and materials; and with adoubt, will improved the obtained results in this phase of investigation.

INDICE

TOMO I: MEMORIA

AGRADECIMIENTOS	1
BREVE HISTORIAL	3
1.- INTRODUCCION	10
1.1.- MEMORIA	10
1.2.- NORMATIVA VIGENTE	19
1.2.1.- Legislación española	19
1.2.2.- Legislación comunitaria europea	22
1.3.- METODOLOGIA	30
2.- ¿QUE SON LOS FILTROS BIOLÓGICOS INUNDADOS?	35
FUNCIONAMIENTO	
2.1.- INTRODUCCION	35
2.2.- FUNCIONAMIENTO DE UN FILTRO BIOLÓGICO	36
2.3.- LAVADO DEL FILTRO	38
2.4.- AUTOMATIZACION	40
2.4.1.- Grado de colmatación	40
2.4.2.- Contaminación de entrada	40
2.5.- VENTAJAS DEL SISTEMA	41
3.- ESTUDIO DEL ARTE	44
3.1.- INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA	44
3.2.- ARTICULOS SELECCIONADOS	47
3.2.1.- Referencias de artículos	47

6.1.- UBICACIÓN DE LAS PLANTAS PILOTO	105
6.1.1.- Introducción	
6.1.2.- Descripción Depuradora Sur Churriana	107
6.1.3.- Datos de funcionamiento	111
6.1.4.- Ubicación de las plantas piloto	120
6.2.- PLANTA PILOTO A ESCALA DE LABORATORIO	120
6.2.1.- Partes de la planta piloto de laboratorio	121
6.2.2.- Funcionamiento de la planta piloto de laboratorio	122
6.3.- DESCRIPCION DE LA PLANTA PILOTO SEMITECNICA	123
6.3.1.- Partes de la planta piloto	123
6.3.2.- Funcionamiento de la planta piloto	125
6.3.3.- Descripción de los equipos de la planta piloto	128
7.- INVESTIGACIÓN DE CHOQUE	134
7.1.- INTRODUCCIÓN	134
7.2.- RELLENOS ESTUDIADOS	135
7.2.1.- Sepiolita. Características	135
7.2.2.- Relleno plástico. Características	136
7.2.3.- Relleno cerámico. Características	137
7.3.- METODOLOGIA PARA LA TOMA DE DATOS	138
7.3.1.- Muestras depuradas utilizando la sepiolita como soporte	138
7.3.2.- Muestras depuradas utilizando el plástico como soporte	138
7.3.3.- Muestras depuradas utilizando relleno cerámico como soporte	139
7.4.-ANALITICA DE LAS MUESTRAS	140

7.5.- PUESTA EN MARCHA	140
7.5.1.- Sepiolita	140
7.5.2.- Relleno plástico	141
7.5.3.- Relleno cerámico	142
7.5.4.- Problemas que se presentaron	143
7.5.5.- Puesta a punto de la planta piloto semitécnica	144
7.6.- RESULTADOS ANALITICOS	146
7.6.1.- Sepiolita	146
7.6.2.- Relleno plástico	152
7.6.3.- Relleno cerámico	159
7.7.- ESTUDIO SISTEMATICO DE RESULTADOS	165
7.7.1.- Relleno sepiolita	165
7.7.2.- Relleno plástico	167
7.7.3.- Relleno cerámico	171
8.- CONCLUSIONES PREVIAS	175
8.1.- CONCLUSIONES PREVIAS. SEPIOLITA	175
8.2.- CONCLUSIONES PREVIAS. RELLENO PLASTICO	176
8.2.1.- Problemas del relleno	176
8.2.2.- Conclusiones obtenidas a partir del análisis de resultados	178
8.3.- CONCLUSIONES PREVIAS. RELLENO CERAMICO	182
8.3.1.- Problemas del relleno	182
8.3.2.- Conclusiones obtenidas a partir del análisis de resultados	183
8.4.- RESUMEN Y COMPARACION ENTRE RELLENOS	186

9.- MODIFICACIONES	188
9.1.- MODIFICACIONES EN LA PLANTA PILOTO	188
9.2.- OBJETIVOS DEFINITIVOS	190
9.3.- VARIABLES Y PARAMETROS DEFINITIVOS	192
9.3.1.- Parámetros	192
9.3.2.- Variables	192
10.- INVESTIGACION DE FONDO	195
10.1.- INTRODUCCION	195
10.2.- MATERIALES UTILIZADOS COMO SOPORTE	196
10.2.1.- Rellenos utilizados	196
10.2.2.- Resina impermeabilizadora	199
10.3.- FASES DE TRABAJO	203
10.4.- INVESTIGACION DE FONDO. RELLENO PLASTICO	205
10.4.1.- Metodología y fases del ensayo	205
10.4.2.- Puesta en marcha de las distintas fases	207
10.4.3.- Metodología para la toma de datos	214
10.4.4.- Analítica de muestras	219
10.4.5.- Problemas que se presentaron	220
A) PRIMERA FASE. LECHO FLOTANTE Y ALIMENTACION SUPERIOR	
10.4.6.- Resultados analíticos	221
10.4.7.- Estudio sistemático de resultados	237
B) SEGUNDA FASE. LECHO FLOTANTE Y ALIMENTACION INFERIOR	
10.4.8.- Resultados analíticos	245

10.4.9.- Estudio sistemático de resultados	259
C) TERCERA FASE. LECHO SUMERGIDO Y ALIMENTACIÓN SUPERIOR	
10.4.10.- Análisis de datos y estudio sistemático de resultados	267
D) CUARTA FASE. LECHO SUMERGIDO Y ALIMENTACION INFERIOR	
10.4.11.- Análisis de datos y estudio sistemático de resultados	269
10.5.- INVESTIGACIÓN DE FONDO. RELLENO CERAMICO	
10.5.1.- Introducción	271
10.5.2.- Puesta en marcha de las distintas fases	272
10.5.3.- Metodología para la toma de datos	275
10.5.4.- Analítica de las muestras	276
10.5.5.- Problemas que se presentaron	277
A) PRIMERA FASE. GRANULOMETRIA 5 A 7 mm. RELLENO SIN IMPERMEABILIZAR, ALTURA DE FILTRO 1,80 m. ALIMENTACION SUPERIOR DE AGUA DE PROCESO	
10.5.6.- Resultados analíticos	279
10.5.7.- Estudio sistemático de resultados	298
B) SEGUNDA FASE. GRANULOMETRIA 5 A 7 mm. RELLENO SIN IMPERMEABILIZAR, ALTURA DE FILTRO 1,80 m. ALIMENTACION INFERIOR DE AGUA DE PROCESO	
10.5.8.- Resultados analíticos y estudio sistemático de resultados	307
C) TERCERA FASE. GRANULOMETRIA 2 A 5 mm. RELLENO IMPERMEABILIZADO, ALTURA DE FILTRO 1,80 m. ALIMENTACION SUPERIOR DE AGUA DE PROCESO	

10.5.9.- Resultados analíticos y estudio sistemático de resultados	308
D) CUARTA FASE. GRANULOMETRIA 2 A 5 mm. RELLENO IMPERMEABILIZADO, ALTURA DE FILTRO 1,80 m. ALIMENTACION INFERIOR DE AGUA DE PROCESO	
10.5.10.- Resultados analíticos y estudio sistemático de resultados	309
E) QUINTA FASE. GRANULOMETRIA 2 A 5 mm. RELLENO SIN IMPERMEABILIZAR, ALTURA DE FILTRO 1,80 m. ALIMENTACION SUPERIOR DE AGUA DE PROCESO	
10.5.11.- Resultados analíticos	310
10.5.12.- Estudio sistemático de resultados	329
F) SEXTA FASE. GRANULOMETRIA 2 A 5 mm. RELLENO SIN IMPERMEABILIZAR, ALTURA DE FILTRO 1,80 m. ALIMENTACION INFERIOR DE AGUA DE PROCESO	
10.5.13.- Resultados analíticos y estudio sistemático de resultados	349
10.6.- INVESTIGACION DE FONDO. DOBLE CAPA	350
10.6.1.- Introducción	350
10.6.2.- Problemas técnicos que se presentaron	351
10.6.3.- Metodología para la toma de datos	351
10.6.4.- Analítica de las muestras	352
10.6.5.- Resultados analíticos	352
11.- CONCLUSIONES DEFINITIVAS, DEFENSA Y LINEAS FUTURAS DE INVESTIGACION	361
11.1.- CONCLUSIONES DEFINITIVAS. RELLENO PLASTICO	362

INDICE

TOMO II: ANEJOS

ANEJO N° 1: LEGISLACION

ANEJO N° 2: BARRIDO BIBLIOGRAFICO

ANEJO N° 3: INVESTIGACIÓN DE CHOQUE. GRAFICOS

ANEJO N° 4: INVESTIGACIÓN DE FONDO. GRAFICOS

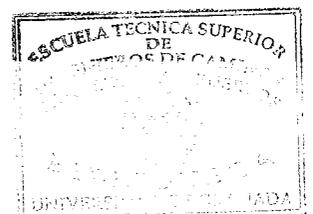
ANEJO N° 5: CONCLUSIONES DEFINITIVAS. GRAFICOS

ANEJO N° 6: REPORTAJE FOTOGRÁFICO

INDICE DE FIGURAS

Figura nº 1.1.- Línea de tratamiento de una Estación Depuradora convencional depuradora convencional	15
Figura nº 2.1.- Filtro biológico inundado. Flujo descendente	43
Figura nº 3.1.- Esquema del funcionamiento de un sistema bicarbono	57
Figura nº 3.2.- Instalación con sistema biocarbono	58
Figura nº 3.3.- Algunos resultados obtenidos con biocarbono	60
Figura nº 3.4.- EDAR de Ibiza	63
Figura nº 3.5.- Sistema Biostyr	64
Figura nº 3.6.- Esquema de funcionamiento con tecnología Biostyr	66
Figura nº 3.7.- Algunos resultados obtenidos con el Biostyr	67
Figura nº 3.8.- Depuradora de Cergy	68
Figura nº 3.9.- Esquema de funcionamiento de la EDAR del Puerto de Sta. M ^a	71
Figura nº 3.10.- Depuradora del Puerto de Sta. M ^o	72
Figura nº 6.1.- Depurador Sur	119
Figura nº 6.2.- Esquema de la planta piloto a escala de laboratorio	132
Figura nº 6.3.- Esquema planta piloto semitécnica	133
Figura nº 9.1.- Modificaciones en planta piloto semitécnica. Introducción del flujo ascendente	194
Figura nº 10.1.- Planta piloto. Relleno plástico. Alimentación superior de agua de proceso	209
Figura nº 10.2.-Planta piloto. Relleno plástico. Alimentación inferior de agua de proceso	211

Figura nº 10.3.- Planta piloto. Relleno plástico sumergido y forzado.	213
Alimentación superior de agua de proceso	
Figura nº 10.4.- Planta piloto. Relleno plástico sumergido y forzado.	215
Alimentación inferior de agua de proceso	



AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha podido desarrollar gracias a la colaboración e interés de distintas personas pertenecientes a varios organismos y que a continuación se enumeran.

De forma especial debo agradecer a D. Ernesto Hontoria García su gran dedicación, ya que como catedrático de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Granada, y director de esta investigación, ha puesto a mi disposición sus valiosos conocimientos, y como investigador ha guiado en todo momento mi trabajo.

A D. Juan Manuel Cardenete López, en su fecha director de la Empresa Municipal de Aguas de Granada, E.M.A.S.A.G.R.A, por facilitar el trabajo poniendo a mi disposición todos los medios humanos y materiales que han sido necesarios.

A todo el personal de la Depuradora Sur de Granada, por su ayuda y colaboración desinteresada en los trabajos, en ocasiones algo duros, de puesta a punto de la planta piloto, y en especial a D. Roberto Hernández, por la ayuda prestada para el mantenimiento de la planta experimental.

Al personal de la Depuradora Oeste de Granada, y muy especialmente a D. José Luis Martín, director de la misma, por sus enseñanzas en el trabajo de laboratorio.

Al personal del Area de Cooperación Local de la Diputación Provincial de

Granada, y muy especialmente a D. Jesús Beas, D. Vicente Gallardo y D^a Gemma Alcaín, que a pesar de mi compromiso para colaborar en la puesta en marcha del Plan de Depuración de Aguas Residuales de la Provincia de Granada, han flexibilizado al máximo mi trabajo para facilitar la realización de mi tesis doctoral.

Además de las personas citadas, y otras que se me pudieran haber olvidado mientras redacto este agradecimiento, quiero igualmente reflejar a OTU y EMPROAC, SA. que fueron las empresas que colaboraron en los principios de este trabajo, así como EGMASA y Cerámicas Siles que continuaron. A Proyectos, Urbanismo y Asistencia Técnica, que confió en nosotros para la investigación que la Dirección General de Calidad de Aguas le había encargado, y que dará como fruto varias de las líneas futuras de investigación que planteo, con la ayuda de la construcción de la nueva planta piloto.

De forma muy especial debo agradecer la ayuda de mi familia; a mis padres su dedicación y colaboración para facilitar mi trabajo, a pesar de los sacrificios que en muchos momentos esta labor ha supuesto para ellos; a mi marido su compañía y ánimos que en todo momento ha intentado infundirme, así como su colaboración en muchos de los trabajos realizados a lo largo de la investigación.

Y finalmente, a todos los compañeros y personal administrativo del Departamento de Ingeniería Civil de la Escuela de Caminos, Canales y Puertos de Granada, especialmente a D^a Begoña Moreno y D. Jorge I. Pérez, por su ayuda desinteresada en mi trabajo.

BREVE HISTORIAL

La doctorando, nacida en Granada en 1970, obtuvo el título de Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos en la Universidad de Granada en el año 1993.

Mientras cursaba el último año de estos estudios, obtuvo una beca del Consejo Superior de Investigaciones Científicas para la Introducción a la Investigación (2 Diciembre de 1992. Convocatoria BOE 7 Agosto 1992). En el período de disfrute de la misma (1 de Enero de 1993 a 31 de Diciembre de 1993) se realizaron trabajos de prácticas en el Laboratorio de Ingeniería Sanitaria del Departamento de Ordenación del Territorio, Urbanismo y Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Madrid (Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos).

Como consecuencia de este trabajo y de la elección de la asignatura de Tratamiento de Aguas cursada en el último año, se incrementó el interés en el campo de la Ingeniería Sanitaria y decidió ampliar conocimientos en este tema, así como desarrollar la actividad docente en la Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Granada. Por esta razón solicitó y fue admitida en el Departamento de Ingeniería Civil de dicha Escuela, para la realización de la tesis doctoral.

Se elige como tema de investigación para la Tesis Doctoral un *"Estudio comparativo de rellenos en sistemas de depuración de lechos inundados"*.

Aceptó ser Director de la misma el Profesor Dr. D. Ernesto Hontoria García, Catedrático del Departamento. Con su visto bueno se presentó al Rectorado a los efectos oportunos.

Los trabajos de investigación se realizaron en las dependencias de la Empresa Municipal de Aguas de Granada, E.M.A.S.A.G.R.A, para los cuales se obtuvieron dos becas, una primera con cargo al contrato suscrito entre la citada empresa y la Universidad de Granada, con período de vigencia del 1 de Enero de 1994 a 28 de Febrero de 1994, y otra Ayuda para el intercambio de personal de investigación entre industrias y Centros Públicos de investigación (Convocatoria año 1992. BOE 20-11-92) con vigencia desde el 1 de Abril de 1994 hasta la actualidad.

Para alcanzar la suficiencia investigadora se realizaron los siguientes cursos de doctorado:

- Aplicaciones de los modelos matemáticos en Ingeniería Hidráulica
- Aspectos metodológicos del diseño en ingeniería
- La investigación científica
- Plataformas ferroviarias
- Sistemas avanzados de depuración de aguas residuales
- Microbiología ambiental
- Recuperación de márgenes fluviales para usos recreativos
- Sistemas de información geográfica en el medio ambiente
- Técnicas avanzadas de control atmosférico

- Gestión y protección de recursos hídricos subterráneos
- Metodología de explotación de estaciones depuradoras
- Recuperación de márgenes de embalses para usos recreativos

Durante el curso 94/95 la doctorando realizó el **Master Universitario CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS DEL MEDIO AMBIENTE. (2ª Edición)** organizado por el Instituto Universitario del Agua, el Departamento de Biología Vegetal y la E.T.S de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad de Granada, con la colaboración de la Agencia del Medio Ambiente de la Junta de Andalucía y el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (C.I.E.M.A.T).

Simultáneamente al trabajo de investigación la doctorando ha colaborado en otros trabajos en el Departamento, entre los que destacan:

- 1.- Contrato de Investigación suscrito con la Empresa EMASAGRA, para el "Estudio y optimización de los procesos de explotación para minimizar la flotabilidad de los fangos activados".
- 2.- Contrato de Investigación suscrito con la Empresa EMASAGRA, para la "Depuración de aguas residuales por sistemas de bajo y fácil mantenimiento, así como de tecnologías avanzadas".

3.- Contrato de Investigación suscrito con la Empresa Ciudad Autónoma de Melilla, para el "Asesoramiento técnico y asistencia técnica en la redacción del proyecto de ampliación y dirección de la obra de rehabilitación en la Estación Depuradora de Aguas Residuales de Melilla".

4.- Contrato de Investigación con la Consejería de Obras Públicas y Transporte para el "Estudio de saneamiento y depuración de aguas residuales en los núcleos pertenecientes al Consorcio Oriental de Córdoba y los núcleos que afectan al Parque Natural de las Sierras Subbéticas Cordobesas, núcleos de la Vega Alta Granadina, etc."

5.- Desde Noviembre de 1993 hasta la actualidad se está realizando una asistencia técnica para proyectos de EDAR y estudios complementarios en la puesta en marcha del Plan de Depuración de Aguas Residuales de la Provincia de Granada en la Diputación Provincial. Durante este período los trabajos realizados se pueden resumir en:

a) Informes técnicos para la elección de la solución adoptada y prediseño de la misma en los siguientes núcleos:

- | | |
|----------------------------|---------------|
| - Juviles | - Huescar |
| - Marchall | - Castillejar |
| - Los Olivos (Castillejar) | - Alquife |
| - Dúrcal | - Nigüelas |
| - Castril | - Lujar |

- Lobras
- Rubite
- Hueneja
- El Turro (Cacín)
- Soportujar
- Albuñán
- Villanueva de Mesías
- La Tahá
- Orgiva
- Aldeire
- Benamaurel
- Bubión
- Valor
- La Malahá
- Diezma
- Ventas de Zafarraya
- Turón
- Moraleda de Zafayona
- Cacín
- Carataunas
- Huetor Santillán
- Huetor Tajar
- La Calahorra
- Pórtugos
- Cúllar
- Cogollos de Guadix
- Capileira
- Pampaneira
- Ugijar
- Chimeneas
- Ferreira

b) Anteproyectos de los núcleos siguientes:

- Iznalloz
- Velez Benaudalla

c) Colaboración en la redacción del Pliego de Estudios Complementarios en los núcleos de Alquife, Castillejar, Los Olivos (Castillejar), Castril, Dúrcal y

Nigüelas.

d) Colaboración en la redacción del Pliego para el seguimiento analítico de las depuradoras de la provincia de Granada.

e) Colaboración en los Planes Provinciales de los años 95 y 96.

f) Visitas para el control de las depuradoras de Jayena, Piñar, Dehesas de Guadix, Torrecardela, Quentar (en construcción), Colomera (en construcción), Güejar Sierra, Villanueva de las Torres.

g) Asesoramiento en la construcción de las depuradoras de Agrón, Cacín y El Turro (Cacín)

h) Creación de una base de datos para recoger todos los avances que se van realizando en la puesta en marcha del Plan.

6.- Publicaciones:

- MATERIAL DE SOPORTE Y FUENTES DE CARBONO EN PROCESOS DE LECHOS INUNDADOS. Montserrat Zamorano, Miguel A. Gómez, Jesús González. *Ernesto Hontoria. Departamento de Ingeniería Civil. E.T.S.I.C.C.P. de Granada.* **TECNOAMBIENTE n° 52. Julio 1995.**pp. 39-42.

- **TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. PROCESOS SUMERGIDOS DE BIOPELÍCULA.** Ernesto Hontoria, Montserrat Zamorano, Miguel Ángel Gómez, Jesús González. *Grupo de biopelícula. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de Granada. TECNOAMBIENTE n° 47. Febrero 1995. pp. 31-33.*

7.- Asistencia a las **JORNADAS TÉCNICAS HISPANO ALEMANAS DE TRATAMIENTOS AVANZADOS DE AGUA.**

26-27 Junio 1995. Granada. Organizadas por el Departamento de Ingeniería Civil.

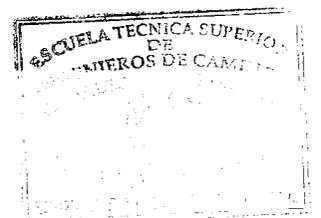
8.- Participación en el **CONGRESO INTERNACIONAL IAWQ CONFERENCE WORKSHOP BIOFILM STRUCTURE, GROWTH AND DYNAMICS. NEED FOR NEW CONCEPTS.** 30 Agosto-1 Septiembre 1995. Noordwijkerhout. Holanda.

Presentaciones realizadas:

. **Optimización de procesos biológicos de desnitrificación con filtros sumergidos.** M.A. Gómez, M. Zamorano, J. González-López, E. Hontoria.

. **Estudio de diferentes materiales como soportes de lechos biológicos inundados en depuración de aguas residuales.** M. Zamorano, M.A. Gómez, E. Hontoria, J. González-López.

1.- INTRODUCCION



Cada vez se está dando mayor importancia al agua como recurso natural escaso, indispensable, irremplazable y altamente vulnerable; esto, unido al creciente interés por la protección del medio ambiente en general, ha motivado una concienciación de la necesidad de depurar las aguas procedentes de usos tanto urbanos como industriales e incluso, más recientemente, de los efluentes de riego.

Esta consideración del agua como bien, que ha dejado de ser inagotable, se concretó en la Cumbre de Río de 1992, en la que aparece no sólo como elemento indispensable para la vida, sino como un recurso económico finito, cuyo deterioro puede ser un factor limitativo del desarrollo sostenible entendido en su triple vertiente: económica, medioambiental y sociocultural.

De las muchas definiciones que se han dado de *contaminación del agua* destacamos la proclamada en la "*Carta del Agua*" (1.968) por la Asamblea Consultiva del Consejo de Europa en Estrasburgo, que en su punto quinto dice:

"La polución consiste en una modificación, generalmente provocada por el hombre, de la calidad del agua, haciéndola impropia o peligrosa para el consumo humano, la industria, la agricultura, la pesca, las actividades recreativas, así como para los animales domésticos y la vida natural".

De acuerdo con esta definición, además de las sustancias de origen natural en

suspensión y/o en disolución que se encuentran en las aguas naturales y que pueden causar una contaminación cuando su concentración es tal que impide algún uso del agua, existen otras, las más numerosas y peligrosas, que tienen su origen en los productos de desecho originados directa o indirectamente por la actividad humana.

Los efectos que produce una contaminación de las aguas se pueden resumir en los siguientes aspectos:

- Destrucción de los limitados recursos hidráulicos

- Disminución de la calidad del agua, con el peligro añadido de poder afectar directamente a la salud pública y a los asentamientos urbanos e industriales.

- Minimización del poder autodepurador de los cauces receptores.

- Necesidad de implantar unos sistemas de depuración de los vertidos, y en algunos casos del propio medio receptor.

Con el término *depuración* nos referimos a los procesos físicos, biológicos y químicos destinados a reducir la carga contaminante en las aguas residuales, hasta unos límites tales que permitan reponerlas al medio natural sin producir problemas de contaminación así como una reutilización de las mismas. Si bien las primeras

instalaciones para la depuración de aguas residuales se llevaron a cabo hace un siglo en Inglaterra, aunque los hititas utilizaron en el 650 a.c. lagunas para depurar, se puede decir que es a partir de la década de los setenta cuando se ha visto la absoluta necesidad de reducir la contaminación de las aguas residuales, dando lugar a un importante avance de las técnicas de depuración que fueron implantadas seriamente en los ochenta.

Como se ha indicado, el proceso de depuración consiste en una eliminación de la contaminación e impurezas que se encuentran en el agua residual que se va a tratar. Los procesos que pueden ser utilizados dependerán del tipo de vertido y se clasifican en:

- 1. Procesos físicos*
- 2. Procesos químicos*
- 3. Procesos biológicos*

y que se distribuyen en una depuradora convencional atendiendo a los siguientes pasos:

1.- PRETRATAMIENTO

2.- TRATAMIENTO PRIMARIO

3.- TRATAMIENTO SECUNDARIO

4.- TRATAMIENTO TERCIARIO

5.- TRATAMIENTO DE FANGOS

1. Pretratamiento, consistente en la eliminación de cuerpos gruesos, arenas, grasas y flotantes.

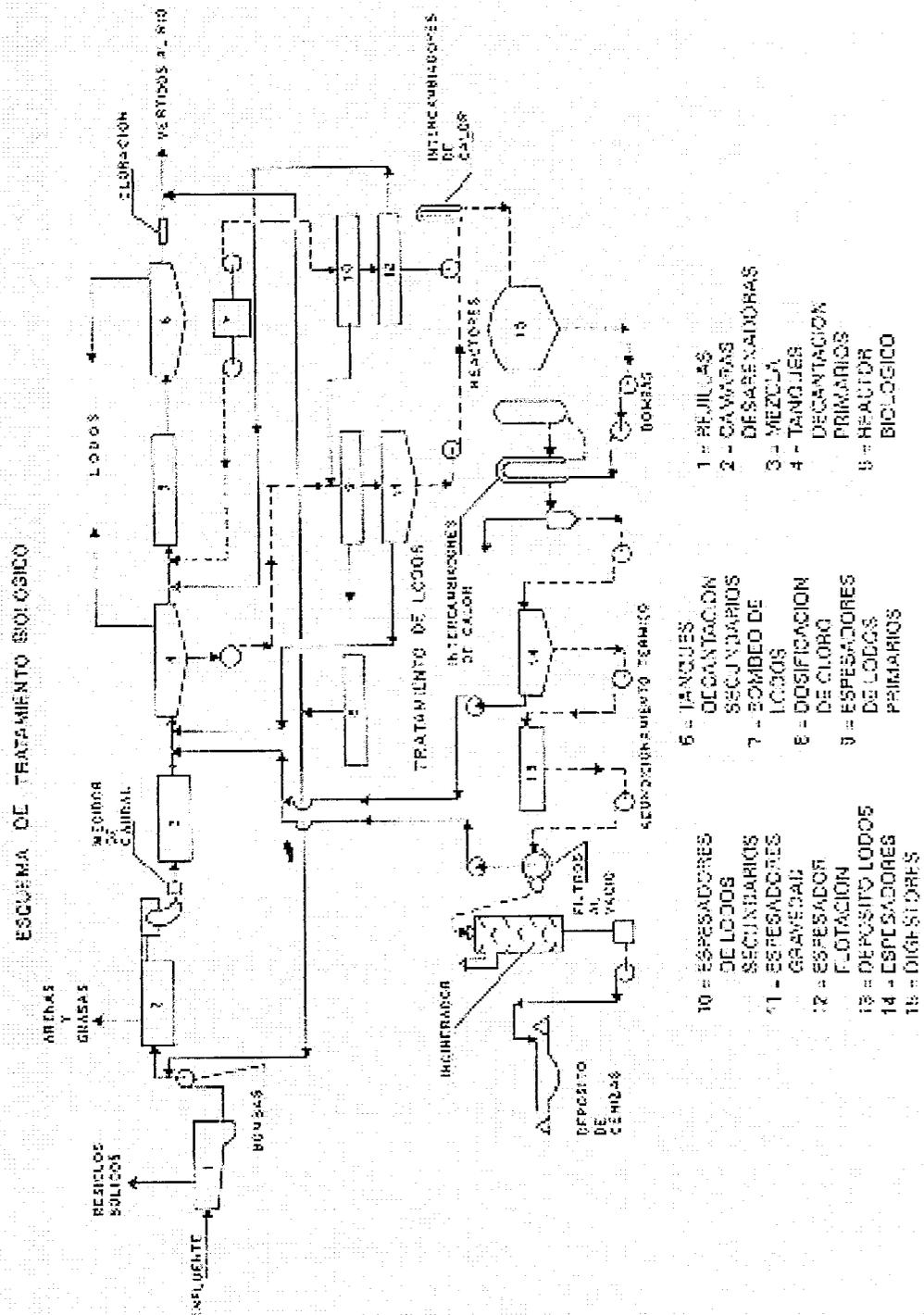
2. Tratamiento primario, consistente en la eliminación de sustancias sedimentables.

3. Tratamiento secundario, que tiene como finalidad la eliminación, estabilización o transformación de la materia orgánica presente en el agua, gracias a la acción de los microorganismos mediante acciones metabólicas y fisico-químicas, buscando una clarificación posteriormente.

4. Depuración terciaria, destinada a conseguir efluentes con niveles de depuración más exigentes y que generalmente se traduce en una eliminación de nutrientes, de patógenos o mayores rendimientos, interviniendo el uso posterior o la autodepuración del medio.

5. Tratamiento de fangos, destinada al acondicionamiento y estabilización de los fangos producidos en el proceso.

Figura 1.1.- Línea de tratamiento en una Estación Depuradora Convencional



Este esquema de tratamiento no es único, pueden admitirse muchas variaciones y combinaciones de sistemas. Por ejemplo el disponer o no de una decantación primaria, la decantación secundaria puede ser sustituida por un filtro de arena en determinados tratamientos secundarios, la depuración terciaria no siempre es necesaria, se pueden utilizar elementos con distintas finalidades; todo ello hace preciso el estudio de alternativas para elegir el sistema más adecuado.

A la hora de elegir un sistema de depuración hay que tener en cuenta una serie de condicionantes, entre los que pueden ser determinantes minimizar la superficie necesaria o el impacto ambiental. Esto puede ser importante en zonas donde el precio de los terrenos es alto, o no existe superficie disponible, o bien en zonas de alto valor paisajístico o turístico. En muchos de estos casos se están utilizando los filtros biológicos inundados, un tratamiento secundario que admite altas cargas contaminantes pudiendo reducir la superficie necesaria y facilitando simultáneamente una construcción en recinto cerrado.

Actualmente, las obligaciones de un mercado cada vez más exigente, nos conducen a desarrollar tecnologías de depuración de aguas residuales que respondan a nuevos criterios de selección, como por ejemplo:

1.- Preservación del medio ambiente

Se está desarrollando una concienciación general de la necesidad de

preservar el medio ambiente, tanto respecto a la calidad de las aguas de vertido, como aspectos cualitativos como impactos visuales, olfativos y auditivos. Esto hace que se busquen sistemas de depuración que permitan construcciones cerradas para albergarlos, con sistemas de desodorización consiguiendo de esta forma la eliminación de impactos visuales, olfativos e incluso auditivos, pudiendo colocarse en lugares cercanos, o incluso en las mismas poblaciones.

2.- Déficit de las superficies construibles

Ante el aumento de zonas urbanizables, las nuevas tecnologías deben hacer frente a un déficit importante de superficies destinadas a este tipo de instalaciones, sobre todo en zonas costeras; esta reducción de espacios en zonas turísticas hace imprescindible ir a sistemas que ocupen poca superficie, y si es posible incluso ir a sistemas cerrados que permitan el aprovechamiento de la parte superior para usos como parques, aparcamientos ...

3.- Automatización

Las nuevas tecnologías tienden a minimizar y facilitar al máximo las tareas de mantenimiento y explotación de estas instalaciones, ya que a la vez se consiguen unos rendimientos mayores así como una minimización de las labores de explotación. Por lo tanto hay que buscar en todo momento sistemas con alto grado de automatismo, que reducen el coste en mano de obra, factor dominante en el encarecimiento de la explotación de las instalaciones.

4.- Cumplimiento a las Normas Europeas

Las limitaciones impuestas por la Comunidad hace necesario una revisión de los tratamientos utilizados hasta el momento, siendo necesarios en muchos caso tratamientos con mayores rendimientos.

El funcionamiento de un filtro biológico inundado será analizado con mayor profundidad en apartados posteriores. Sólo se indicará hasta el momento que se trata de un sistema basado en la utilización de un soporte físico para que los microorganismos responsables de la depuración biológica se apoyen en el, y que permanece sumergido y por tanto tiene que estar aireado, puesto que utilizamos procesos aerobios.

Este trabajo de investigación, que se realiza bajo los condicionantes antes enumerados, toma el título: ***"ESTUDIO COMPARATIVO DE RELLENOS EN SISTEMAS DE DEPURACION DE LECHOS INUNDADOS"***.

Se desarrollan los resultados obtenidos del estudio de distintos materiales utilizados como soporte de la biopelícula en los filtros inundados, elegidos con la finalidad de:

- Alcanzar las exigencias antes indicadas

- Eliminar la decantación secundaria e incluso el filtro de arena. De esta forma se consigue reducir las necesidades de superficie, una de las exigencias que se buscan con las nuevas tecnologías tal y como se ha indicado anteriormente.
- Utilizar materiales reciclados o bien residuos de ciertas industrias, contribuyendo de esta manera al cuidado del medio ambiente.

1.2.- NORMATIVA VIGENTE

En este apartado se hace un breve análisis de la normativa vigente en materia de depuración con la finalidad de poder contrastar posteriormente los límites impuestos y los resultados en depuración obtenidos en nuestro trabajo. En el anejo nº 1 de este trabajo, se transcriben íntegramente algunas de las normativas que se han considerado de mayor interés, así como los artículos más significativos relacionados con la depuración de aguas en otras leyes.

1.2.1.- Legislación española

La necesidad de depurar los vertidos residuales previamente a su evacuación final al medio, surge ya del reconocimiento unánime (*Art. 45.1 de la Constitución Española*) de que *"todos tienen el derecho de disfrutar de un medio ambiente adecuado para el desarrollo de la persona, así como el deber de conservarlo"*. En este sentido *"los poderes públicos velarán por la utilización racional de todos los recursos naturales, con el fin de proteger y mejorar la calidad de vida y defender y restaurar el medio*

ambiente, apoyándose en la indispensable solidaridad colectiva". (Art. 45.2 C.E)

En esta línea, la Ley de Aguas y la Ley de Costas, así como los reglamentos que las desarrollan, son los pilares fundamentales de la legislación española por cuanto se refiere a aguas continentales y aguas litorales, respectivamente, y en ellas se contemplan los mecanismos jurídico-administrativos necesarios para garantizar la protección de la calidad de las aguas.

En la Resolución de 28 de Abril de 1995 se aprueba el **Plan Nacional de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales**. Este documento tiene como finalidad fijar las directrices y los escenarios de financiación del Plan Nacional de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales 1995-2005. El objetivo básico de este Plan es el de garantizar la calidad de la depuración y del vertido de las aguas residuales urbanas, acorde con los criterios de la Unión Europea, mediante la integración y coherencia de las inversiones de los tres niveles de la Administración, y el desarrollo normativo básico propiciado por la Secretaria de Estado de Medio Ambiente y Vivienda. El Plan Nacional de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales constituye una pieza fundamental de la política de gestión del dominio público hidráulico. Va acompañado de varias disposiciones normativas entre las que se destaca la transposición de la Directiva 91/271/CEE.

El Real Decreto-ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establece las

normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas, ha incorporado al ordenamiento jurídico interno los preceptos de la Directiva 91/271/CEE, de 21 de mayo, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas, cuyo contenido no estaba incluido en el Título V de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas, o en el Título III de la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas. En este Real Decreto-ley se impone a determinadas aglomeraciones urbanas la obligación de disponer de sistemas de colectores para la recogida y conducción de las aguas residuales, y de aplicar a éstas distintos tratamientos antes de su vertido a las aguas continentales o marítimas. En la determinación de estos tratamientos se tiene en cuenta si los vertidos se efectúan en "zonas sensibles" o en "zonas menos sensibles", lo que determinará un tratamiento más o menos riguroso.

El Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, completa la incorporación de la citada Directiva comunitaria, desarrollando lo dispuesto en el Real Decreto-ley 11/1995 de 28 de diciembre, para lo cual fija los requisitos técnicos que deberán cumplir los sistemas de colectores y las instalaciones de tratamiento de las aguas residuales, los requisitos de los vertidos procedentes de instalaciones secundarias o de aquellos que vayan a realizarse en zonas sensibles y regula el tratamiento previo de los vertidos de las aguas residuales industriales cuando éstos se realicen a sistemas colectores o a instalaciones de depuración de aguas residuales urbanas. Asimismo, se determinan los criterios que deberán tomarse en consideración para la declaración de las "zonas sensibles" y "zonas menos sensibles", que corresponderá efectuar bien a la Administración General del Estado o a las Comunidades Autónomas. Por último, se

establece que las Administraciones públicas, en el ámbito de sus respectivas competencias, deberán efectuar el seguimiento y los controles precisos para garantizar el cumplimiento de las obligaciones contempladas tanto en el Real Decreto-ley como en el Real Decreto y se fijan los métodos de referencia para el seguimiento y evaluación de los resultados de dichos controles. Las limitaciones establecidas para la calidad del efluente ya depurado coinciden con las impuestas en la Directiva 91/271/CEE, y se recogen en las tablas 1.4, 1.5 y 1.6.

La normativa de rango inferior existente es profusa, a veces compleja . A este respecto se adjunta, sin tratar de ser exhaustivos, una relación de las principales normativas en relación más o menos directa con la depuración de aguas residuales, sin entrar en el ámbito exclusivamente competencial.

1.2.2.- Legislación comunitaria europea

La legislación comunitaria en relación con la problemática de la contaminación provocada por las aguas residuales urbanas se resume, esencialmente, en la *Directiva sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas" (91/271/CEE)*, de 21 de Mayo de 1.991, que supone un avance decisivo en el control efectivo de los vertidos.

Tabla nº 1.1.- Normativa vigente en relación con la depuración de aguas residuales.

NORMATIVA	FECHA	PRINCIPALES TEMAS QUE REGULA EN RELACIÓN CON AGUAS RESIDUALES
Ley de Aguas 29/1. 985	8-8-85	General. Aguas continentales. Vertidos. Protección del Dominio Público Hidráulico y calidad del agua. Canon de vertido. Sanciones. Planificación Hidrológica.
R.D 849/1. 986 Reglamento del Dominio Público Hidráulico	30-4-86	General. Aguas continentales. Protección del Dominio Público Hidráulico y calidad de las aguas. Vertidos y canon de vertido. Reutilización de aguas depuradas. Sanciones.
R.D 927/1. 988. Reglamento de la Administración pública del Agua y de la Planificación Hidrológica	31-8-88	General. Aguas continentales. Contenido de los Planes Hidrológicos. Objetivos de calidad del agua para diferentes usos
Ley de Costas 22/1. 988	29-7-88	General. Aguas litorales o marítimes. Protección del dominio público marítimo-terrestre y calidad de los usos. Vertidos. Canon de vertido. Sanciones
R.D 1471/89. Reglamento general para el desarrollo y ejecución de la Ley de Costas	12-12-89	Igual que la Ley de Costas excepto canon de vertido (pendiente de reglamentación)

Tabla nº 1.1 (continuación).- Normativa vigente en relación con la depuración de aguas residuales.

NORMATIVA	FECHA	PRINCIPALES TEMAS QUE REGULA EN RELACION CON AGUAS RESIDUALES
Decreto 2414/1.961, de 30 de Noviembre que aprueba el Reglamento de actividades molestas, insalubres, nocivas y peligrosas	7-12-67	Regula determinados vertidos industriales
Instrucción para el vertido al mar de aguas residuales con emisarios submarinos	13-7-1.993	Vertido de aguas residuales mediante emisarios submarinos
Orden de 23-12-1.986 por la que se dictan normas complementarias en relación con las autorizaciones de vertido de aguas residuales	30-12-86	Autorizaciones provisionales vertido en aguas continentales
Orden 16-7-1.987	4-8-87	Empresas colaboradoras en materia de control de vertidos residuales
Orden de 12-11-1987	23-11-87	Normas de emisión y objetivos de calidad relativos a sustancias nocivas o peligrosas en vertidos residuales
Orden de 11-5-1.988	24-5-1.988	Objetivos calidad aguas superficiales para producción agua potable
R.D 734/1.988 de 1 de Julio	13-7-88	Normas de calidad de aguas de baño

Tabla nº 1.1 (continuación).- Normativa vigente en relación con la depuración de aguas residuales.

NORMATIVA	FECHA	PRINCIPALES TEMAS QUE REGULA EN RELACIÓN CON AGUAS RESIDUALES
R.D 38/1.989 de 13 de Enero	20-1-89	Normas de calidad de aguas para cría de moluscos
Orden de 13-3-1989	20-3-89	Ampliación de la Orden de 12-11-1.987
Orden de 19-12-1989	23-12-89	Ampliación de la Orden de 12-11-1987
R.D 1316/1991 de 2 de Agosto de reestructuración de Secretarías de Estado de Política del Agua y Medio Ambiente	4-9-91	Se crea la Dirección General de Calidad de las Aguas
R.D 1315/1992, de 30 de Octubre que modifica parcialmente el Real Decreto de Política Hidráulica	1-12-92	Modificación parcial del Real Decreto de Política Hidráulica
Resolución por la que se aprueba el Plan Nacional de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales	28-4-1995	Fija las directrices y los escenarios de financiación del Plan Nacional de Saneamiento y Depuración de Aguas residuales 1995-2005.
R.D.L 11/1995	28-12-95	Establece las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas, incorporando el ordenamiento de los preceptos de la Directiva 91/271/CEE de 21 de marzo, sobre el tratamiento de aguas residuales.
R.D 509/1996	15-3-1996	Desarrolla el R.D.L 11/1995

El objeto de la directiva es *la recogida, tratamiento y vertido de las aguas residuales urbanas y el tratamiento y vertido de las procedentes de determinados sectores industriales a fin de proteger el medio ambiente de sus efectos negativos. (Art. 1). Los Estados miembros pondrán en vigor las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas necesarias para dar cumplimiento a dicha Directiva a más tardar el 30 de Junio de 1.993. (Art. 19.1)*

En la tabla nº 1.2 se enumeran las Directivas de la Unión Europea relacionadas con la Calidad de aguas, Objetivos de Calidad y Límites de vertidos.

En las tablas 1.4 y 1.5 se indican los requisitos mínimos que exige la Directiva 91/271 ya que estos son decisivos a la hora de evaluar los rendimientos obtenidos en nuestro estudio.

La Directiva establece los tipos de tratamiento que deben de aplicarse en aglomeraciones urbanas, en función de su población equivalente, del medio receptor del vertido (aguas dulces, estuarios o aguas costeras) y de la sensibilidad del medio. Estas prescripciones se resumen en la tabla nº 1.6.

En la transcripción a la legislación española, los límites de calidad impuestos son los mismos que se recogen en las tablas indicadas.

Tabla nº 1.2.- Legislación europea

CALIDAD DEL AGUA PARA EL CONSUMO HUMANO	CALIDAD DEL AGUA PARA OTROS USOS	LIMITES DE VERTIDOS Y OBJETIVOS DE CALIDAD
Directiva 75/440/U.E. Aguas destinadas a la producción de agua potable.	Directiva 76/160/U.E. Calidad de las aguas de baño.	Directiva 76/464/ U.E. Contaminación por determinadas sustancias peligrosas.
Directiva 79/869/U.E. Análisis de las aguas potables.	Directiva 78/659/U.E. Aguas continentales aptas para la vida de los peces	Directiva 80/68/U.E. Protección de las aguas subterráneas.
Directiva 80/778/U.E. Aguas destinadas al consumo humano	Directiva 79/923/U.E. Aguas para cría de moluscos	Directiva 82/176/U.E y 84/156. Vertidos de mercurio
	Directiva 91/492/U.E. Calidad de agua para producción de mariscos y otros invertebrados vivos	Directiva 83/513/U.E. Vertidos de Cadmio
		Directiva 84/491/U.E. Vertidos de hexadorociclohexano
		Directiva 86/280/U.E. Vertidos de determinadas sustancias peligrosas
		Directiva 91/676/U.E. Depuración de aguas residuales urbanas
		Directiva 91/676/U.E. Protección de aguas contra la contaminación por nitratos
		Directiva 91/692/U.E. Normalización de informes
		Directiva 86/278/U.E. Empleo de lodos en agricultura

Tabla 1.3.- Transcripción de la legislación europea a la española

LEGISLACIÓN EUROPEA	LEGISLACIÓN ESPAÑOLA
Directiva 75/440/U.E	Orden Ministerial del 11/5/88
Directiva 79/869/U.E	Orden del 8/2/88
Directiva 80/778/U.E	Real Decreto 1423/1982 Orden del 1/7/87
Directiva 76/160/U.E	Real Decreto 734/88
Directiva 78/656/U.E	Real Decreto 927/88
Directiva 91/492/U.E	Real Decreto 38/89 Real Decreto 345/93
Directiva 76/464/U.E	Ley de Aguas 29/85 Reglamento D.P 11/4/86
Directiva 80/68/U.E	Ley de Aguas 29/85 Reglamento D.P 11/4/86 Orden Ministerial 1/12/92
Directiva 82/513/U.E	Orden 31/10/89
Directiva 83/513/U.E	Orden 31/10/89
Directiva 84/491/U.E	Orden 12/11/87
Directiva 86/280/U.E	Orden 12/11/87 Orden 13/3/83
Directiva 91/271/U.E	Resolución 28/4/95 R.D.L 28 /12/95 R.D 15/4/96
Directiva 91/692/U.E	-
Directiva 91/676/U.E	-
Directiva 86/278/U.E	Real Decreto 1310/90 Orden 26 Octubre 1993

Tabla n° 1.4.- Requisitos mínimos que deben de cumplir los vertidos procedentes de tratamientos secundarios o superiores

PARAMETROS	CONCENTRACIÓN (mg/l)	PORCENTAJE MÍNIMO DE REDUCCIÓN (%)
DBO	25	70-90
DQO	125	75
SS	35	90

Tabla n° 1.5.- Requisitos adicionales mínimos que deben cumplir los vertidos procedentes de los tratamientos superiores al secundario

PARAMETROS	CONCENTRACIÓN (mg/l)	PORCENTAJE DE REDUCCIÓN (%)
Fósforo total	2 (10.000-100.000 h.e) 1 (> 100.000 h.e)	80
Nitrógeno total	15 (10.000-100.000 h.e) 10 (> 100.000 h.e)	70-80

Tabla nº 1.6.- Exigencias de tratamiento de la Directiva y ámbito de aplicación

MEDIO RECEPTOR		TIPO DE ZONA	POBLACIÓN EQUIVALENTE (h-e)			
			<2.000	2.000 a 10.000	>10.000	
Aguas dulces		Normal	TA	TS	TS	
		Sensible			T>S (1)	
Aguas marinas	Aguas de estuario	Menos sensible	TA	TP (2)	TP(2)	
		Normal			TS	TS
		Sensible				T>S (1)
	Aguas costeras	Menos sensible	TA	TA	TP (2)	
		Normal			TS	
		Sensible			T>S (1)	

Tipos de tratamiento

TA- tratamiento adecuado TS- tratamiento secundario
 TP- tratamiento primario T>S- más riguroso que secundario

(1) podrán rebajarse a tratamiento secundario si para el conjunto de todas las instalaciones de la zona se reduce el 75% de N y el 75% de P

(2) debe realizarse un estudio global previo que demuestre que no hay afección al medio ambiente. En caso contrario se incrementarían a tratamiento secundario. En poblaciones mayores de 150.000 h-e se admitirán dichos tratamientos primarios en condiciones excepcionales (nunca en aguas dulces)

1.3.- METODOLOGÍA

1.- Barrido bibliográfico atendiendo a los avances previstos.

Antes de comenzar cualquier investigación y con el fin de conocer el estado del arte, es fundamental recopilar toda la información geográfica. De esta forma los avances

realizados son incorporados al estudio y así el comienzo es sin duda más adelantado y sirve todo ello como pilar de apoyo para el arranque de la investigación.

2.- Enumeración de objetivos.

El planteamiento de objetivos, una vez definido el problema y título del estudio son relevantes y tiene como finalidad encauzar las líneas de trabajo.

En principio los objetivos son previos y sin duda irán modificándose a medida que se avance en la investigación, cerrando u obteniendo nuevos objetivos.

3.- Definición de parámetros de estudio.

Una vez establecidos los objetivos, el planteamiento de parámetros ligados a ellos, sirven de punto de arranque para establecer desde la planta piloto la metodología de trabajo.

4.- Enumeración de variables que intervienen en el proceso.

En todo proceso diario existen numerosas variables que intervienen; la interrelación de estas con los parámetros hace que se lleven a buen término los objetivos marcados o bien a su modificación.

5.- Plantas piloto utilizadas

Las plantas piloto deben estar perfectamente definidas, comenzando con

estructuras sencillas y a medida que se vea la factibilidad se irán complicando. El alto coste hace que sea este el camino más lógico.

6.- Investigación de choque

Cualquier investigación debe comenzarse siempre con una de choque dando, después del proceso lógico que se expone, pie a las primeras conclusiones, que serán las bases de posibles reestructuraciones de principio y metodología.

6.1.- Estudio de la superficie específica del material soporte

6.2.- Estudio microbiológico de la fijación de la biopelícula

6.3.- Puesta a punto de la metodología analítica

6.4.- Campaña de toma de muestras y resoluciones analíticas

6.5.- Estudio de los rendimientos alcanzados

6.6.- Puesta a punto del material soporte y rediseño de éste

6.7.- Modificaciones de la planta piloto.

7.- Conclusiones previas

8.- Modificaciones de las condiciones de partida

Las conclusiones previas son las que dan las modificaciones que se han de introducir en objetivos, parámetros, variables y plantas piloto, así como las condiciones de puesta en marcha y funcionamiento.

9.- Investigación de fondo

Es sin duda lo que da origen al trabajo definitivo y tras los puntos anteriores se está en condiciones de realizar un planteamiento correcto y adecuado para finalizar con los siguientes puntos de la metodología.

9.1.- Definición de parámetros

9.2.- Definición de variables

9.3.- Metodología de toma de muestras

9.4.- Resoluciones analíticas

10.- Estudio sistemático de resultados

El estudio de resultados es primordial para establecer el siguiente punto metodológico, base de las conclusiones.

Para ello se realizarán curvas de encaje, que junto a ecuaciones matemáticas definan los parámetros de diseño interrelacionados con los rendimientos de funcionamiento.

11.- Estudio de la influencia de las distintas variables en los objetivos previstos

Evidentemente las variables de funcionamiento son diversas y dependerán en gran medida del marchó geográfico de ubicación de la instalación, de aquí que sea importante este punto.

12.- Conclusiones y recomendaciones

13.- Líneas futuras de investigación

Cualquier estudio de investigación debe finalizarse con proyectos de continuidad dado que no sólo la técnica avanza sino que así lo hace la ciencia.

Es por tanto preciso dejar abiertos nuevos caminos de trabajo o bien continuar con el expuesto, ya que el tiempo algunas veces no deja llegar al fin.



**2.- ¿QUE SON LOS FILTROS BIOLÓGICOS
INUNDADOS? FUNCIONAMIENTO**

2.- ¿QUE SON LOS FILTROS BIOLÓGICOS INUNDADOS?.

FUNCIONAMIENTO

Antes de continuar se estima importante hacer una breve exposición de cual es el funcionamiento de los filtros biológicos inundados. Esto permitirá comprender otros aspectos que se exponen en apartados posteriores.

2.1.- INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha llevado a cabo el desarrollo de un nuevo sistema de tratamiento para las aguas residuales urbanas: *filtros biológicos inundados*.

La innovación de este sistema es que **unifica dos etapas dentro del mismo reactor biológico:**

- la primera, *que es la zona bacteriana propiamente dicha, es donde se producen las actividades de degradación de la materia orgánica por el crecimiento bacteriano adherido al medio filtrante,*
- y la segunda etapa, *en la que el efluente pasa por un filtro que permite la retención de sólidos en suspensión.*

2.2.- FUNCIONAMIENTO DE UN FILTRO BIOLÓGICO

Los tratamientos convencionales de aguas residuales tales como los lechos bacterianos o los fangos activados han estado en uso desde hace años.

En los sistemas del tipo de fangos activos, los microorganismos responsables de la depuración se mantienen en suspensión y reciben el oxígeno necesario gracias a la inyección de aire o bien por agitación mecánica. Este proceso se encuentra limitado por la concentración de la biomasa que puede mantenerse en suspensión en el reactor biológico o balsas de aireación. Además se necesita una decantación secundaria o clarificación que permita la eliminación de esta biomasa responsable de la depuración del efluente. Se trata de un sistema muy utilizado y que proporciona buenos resultados, aunque cualquier cambio adverso en las condiciones de sedimentación de los fangos afectará al rendimiento de la fase final de eliminación de sólidos y por tanto a la calidad del efluente.

¿Qué son los filtros biológicos inundados?. Funcionamiento

En los procesos de biopelícula, los microorganismos se adhieren a un soporte inerte. De los procesos basados en la obtención de una biopelícula sobre un soporte fijo, la aplicación más conocida son los lechos bacterianos, con una antigüedad de más de cien años.

En los lechos bacterianos el medio de soporte suele ser **grava, escoria** o más recientemente **plástico moldeado** de diversas formas, buscando mayor superficie específica y resistencia. En este caso la concentración de biomasa responsable de la depuración va a depender de la superficie específica del medio soporte, que debe tener un índice de huecos suficiente como para permitir el paso del aire que mantendrá las condiciones aerobias en todo el lecho.

El lecho bacteriano permite alcanzar unos rendimientos de eliminación de DBO_5 y nitrógeno aceptables, aunque con la aplicación de cargas volúmicas relativamente bajas, siendo por tanto necesarios volúmenes de reactor importantes, traduciéndose a la vez en grandes necesidades de superficie para poblaciones elevadas por lo que en la actualidad está limitado a núcleos con población no excesivamente alta.

Basándose en el proceso de biopelícula sobre un soporte fijo, y con la finalidad de reducir el volumen de los reactores biológicos se ha llegado al diseño del denominado *filtro biológico sumergido aireado*, que difiere de un filtro percolador en que funciona con el medio soporte sumergido, empleándose un lecho granular de tamaño

aproximadamente 5 mm. y una aireación forzada.

En este sistema se introduce en el reactor agua residual, tras una decantación primaria, bien por la parte superior o inferior del lecho, según sea un filtro con flujo descendente o ascendente, mientras que el aire se introduce por la parte inferior del mismo, aunque dejando bajo la parrilla de aireación una zona sin airear en uno de los sistemas patentados. El agua y el aire funcionan por tanto a contracorriente o a corriente, respectivamente.

Un material de relleno adecuado proporciona una superficie específica elevada, así como una estructura porosa, permitiendo de esta forma un importante crecimiento y desarrollo de la biomasa encargada de la depuración hasta cuatro veces superior que la concentración que se consigue con los sistemas de crecimiento en suspensión.

El efluente puede contener algunos sólidos en suspensión que no han quedado retenidos en el lecho, por lo que el tratamiento se completa, en algunas patentes, con unos *filtros de arena* de afino del efluente.

2.3.- LAVADO DEL FILTRO

A medida que el filtro funciona se va produciendo una colmatación del mismo, tanto por los sólidos en suspensión retenidos, como por el crecimiento de la biomasa que

¿Qué son los filtros biológicos inundados?. Funcionamiento

va ocupando los espacios libres, peligrando el estado aerobio del filtro así como el paso del efluente, ya que reduce el caudal y consecuentemente tiene mayor pérdida de sólidos y flocos, por lo que van a ser necesarios los lavados periódicos de los filtros biológicos.

Estos lavados se van a realizar aproximadamente cada 24 horas, aunque lógicamente dependerá de la pérdida de carga, que es lo que se suele utilizar en el automatismo de disparo de los lavados.

El ciclo de lavado suele durar de veinte a treinta minutos y generalmente está formado por las siguientes fases:

1.- *Fase de esponjamiento*, sólo con aire

2.- *Fase de lavado propiamente dicha*, con agua y aire

3.- *Fase de aclarado*, con agua.

Estas fases pueden variar según el tipo de material de relleno que se utilice, como se verá en apartados siguientes.

El aire y el agua de lavado se introducen por la parte inferior del lecho. Para el lavado se utiliza parte del efluente ya depurado que se almacena con esta finalidad en un

depósito de agua de lavado.

El agua procedente de los lavados arrastra gran cantidad de fangos biológicos que se encontraban retenidos en el filtro, por lo que se recircula hasta el tratamiento primario o una decantación a tal efecto, para proceder a su integración a la línea de agua. La estructuración y duración de los ciclos de lavado pueden variar de unas patentes a otras.

2.4.- AUTOMATIZACIÓN

La automatización de los filtros se centra en el conocimiento de:

- *grado de colmatación*
- *contaminación de entrada*

2.4.1.- Grado de colmatación

Para conocer el grado de colmatación del filtro nos basaremos en la determinación de la pérdida de carga de este gracias a sensores colocados aguas arriba del mismo, ya que el nivel de salida del filtro es fijo.

2.4.2.- Contaminación de entrada

Este valor permitiría adecuar los caudales de aire de proceso a las verdaderas necesidades en función de cual es el grado de contaminación existente. Este aspecto es

importante desde el punto de vista de la optimización del proceso.

El problema es que no puede ser un valor que se obtenga de forma inmediata, por lo que tendremos que someternos a los resultados estadísticos obtenidos de un estudio de las características del agua residual de entrada.

2.5.- VENTAJAS DEL SISTEMA

El tratamiento de depuración de aguas residuales descrito hasta el momento presenta las siguientes ventajas:

- El sistema permite combinar la reducción de la contaminación biológica con la clarificación del agua.
- Se admiten cargas orgánicas mayores; esto se traduce en menores volúmenes de reactor biológico, y por tanto se tendrán necesidades menores de superficie.
- La supresión del decantador secundario se traduce de nuevo en menores necesidades de superficie.
- Se puede aplicar tanto para la eliminación de contaminación orgánica, como para la eliminación de materia nitrogenada.

¿Qué son los filtros biológicos inundados?. Funcionamiento

- Se consigue una puesta en marcha del sistema en un corto período de tiempo.
- Se adapta mejor a cambios de pH.
- No se producen efectos de *bulking*
- Acepta mayor cantidad de inhibidores, así como una menor relación DBO/DQO
- Facilidad para automatizar los ciclos de lavado.
- Se adapta tanto a influentes diluidos como a los más concentrados.
- Las menores necesidades de superficie, así como las formas compactas del reactor, permiten ir a construcciones cerradas, consiguiendo de esta forma minimizar impactos ambientales visuales, sonoros y de olores; este aspecto puede llegar a ser importante en zonas turísticas o en aquellas en las que por la escasa disponibilidad de terrenos se tenga que recurrir a Estaciones de Depuración cercanas a los núcleos de población, e incluso integradas en el mismo.

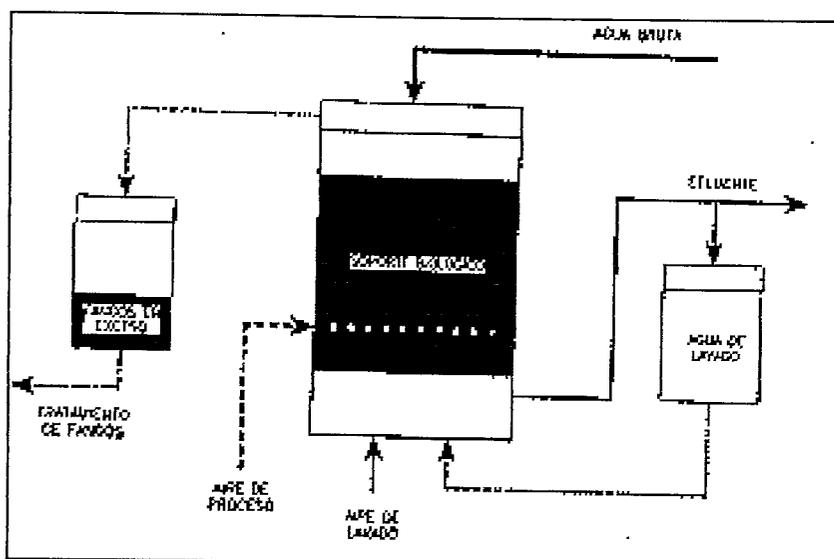


Figura n° 2.1: Esquema filtro biológico. Flujo descendente

3.- ESTUDIO DEL ARTE

3.- ESTUDIO DEL ARTE

3.1.- INVESTIGACION BIBLIOGRAFICA

Para llevar a cabo este trabajo de investigación se ha procedido a una revisión bibliográfica de las investigaciones realizadas en este campo, culminando en un barrido bibliográfico con el que se han conocido las líneas de investigación publicadas en esta materia.

Para la obtención de la información se ha acudido a diferentes organismos que se enumeran a continuación:

- 1.- Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- 2.- Departamento de Ingeniería Civil. Cátedra de Ingeniería Sanitaria.

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Granada.

3.- Biblioteca General de la Universidad de Granada (Hospital Real).

4.- Agencia de Transferencia e Investigación (A.T.R.I). Universidad de Granada.

La investigación bibliográfica realizada en el Departamento de Ingeniería Civil se ha basado en la consulta de una serie de artículos pertenecientes a la "Water Research" fundamentalmente. Se han consultado también algunos volúmenes de "Enviroline", así como la documentación perteneciente a algunos Congresos y Jornadas. De esta investigación bibliográfica se han obtenido una serie de artículos interesantes que se van a adjuntar como documentación de este trabajo.

La investigación realizada en la Biblioteca General de la Universidad de Granada no fue fructífera ya que no permitió la consulta en los bancos de datos que contienen mayor documentación sobre estos temas.

La investigación bibliográfica realizada en el **CURRENT**, a través de la **A.T.R.I** tampoco fue fructífera. Se proporcionó un gran volumen de artículos de los que sólo fueron útiles una mínima parte, que pertenecen a la Water Research, y que ya habían sido

seleccionados en la consulta realizada en el Departamento de Ingeniería Civil.

La consulta realizada a través del colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid se realizó en los siguientes ficheros internacionales:

1.- **AQUALINE-25**

Water Research Centre

2.- **COMPENDEX-4**

Engineering Information Inc

3.- **ENVIROLINE-11**

Environment Information Center Inc

4.- **AFFE-73**

Association Francaise pou L'Etude des Eaux

5.- **POLLUTION-18**

Cambridge Scientific Abstracts

a los que se accedió con las siguientes palabras clave:

- biofilm reactor
- fluidized bed
- biological filter
- fixed film reactor
- aerated submerged biological filter
- biofiltration
- bioactive filter
- biocarbon
- fixed film reactor

Son los ficheros numerados como 1, 3 y 5 los que proporcionaron mayor volumen de información.

3.2.- ARTICULOS SELECCIONADOS

3.2.1.- Referencias de artículos

Como el volumen de referencias encontradas es importante, se ha optado por recogerlos en el anejo nº 2 denominado *Barrido Bibliográfico*, en el que se recogerán tanto las referencias, como las fuentes de donde han sido obtenidos, así como un resumen de los mismos.

3.2.2.- Análisis de la información obtenida

De la lectura y análisis detenido de la bibliografía obtenida y recogida en el

Anejo: Barrido Bibliográfico, se ha realizado un breve resumen de los aspectos que se han considerado más importantes y que se expone a continuación en los siguientes apartados:

- a) Tipos de reactores utilizados. Alimentación de agua. Sentido de flujo. Materiales utilizados como relleno
- b) Rendimientos y niveles de depuración obtenidos
- c) Cargas aplicadas
- d) Lavados
- e) Aplicaciones
- f) Ventajas del sistema
- g) Comparación de sistemas
- h) Estudio de seguimiento de 12 plantas de depuración de aguas residuales

a) Tipo de reactores utilizados. Alimentación de agua. Sentido de flujo. Materiales utilizados

Los estudios realizados se centran tanto en plantas piloto a escala semitécnica, como a escala de laboratorio e incluso a escala real. En todo caso se trata generalmente de un reactor cilíndrico que se rellena con el material utilizado como soporte para el crecimiento de la biopelícula y que permanece sumergido. Este medio se encuentra constantemente aireado, pudiendo permanecer sólo sumergido, en cuyo caso sería un lecho biológico inundado o bien sumergido y en constante agitación (como consecuencia

del caudal de aire de proceso), en cuyo caso se habla de lechos fluidificados.

Estas plantas están caracterizadas por dos tipos de sentido de flujo según el agua de proceso vaya en sentido ascendente o descendente.

La alimentación de aire de proceso se realiza por la parte inferior del lecho, dejando una zona por debajo, en algunos casos, en condiciones anaerobias. En el caso de los lechos fluidificados todo el volumen de relleno se encuentra aireado y en suspensión.

Como material de soporte se utilizan partículas granulares con tamaños medios que oscilan entre los 2 y 3,5 mm. En el caso de los lechos inundados propiamente dichos su densidad es superior a 1 para evitar problemas de flotabilidad y conseguir que el lecho se encuentre siempre inundado; las porosidades de estos rellenos han sido variadas, oscilando entre 0,3 y 0,9. En el caso de los lechos fluidificados se trabaja con partículas de tamaño algo mayor y con una estructura superficial rugosa con una gran superficie específica que facilita la adhesión de la biopelícula. También se ha trabajado con bloques de plástico de tamaño apreciable que se mantienen sumergidos y con una estructura muy abierta, que permite grandes superficies específicas y por tanto facilita el crecimiento de la biopelícula.

b) Rendimientos y niveles de depuración obtenidos

En todos los estudios consultados los niveles de depuración y rendimientos alcanzados son no sólo aceptables, sino además podemos decir que alcanzan valores muy altos tanto en el caso de los niveles de depuración como en el caso de los rendimientos, cumpliéndose las exigencias de la legislación vigente, con valores de salida de DBO₅ de 10 mg/l y de 20 mg/l en SS.

En la siguiente tabla se indica los resultados medios obtenidos en los estudios que han parecido más interesantes:

Tabla n° 3.1.- Rendimientos (%)

	Flujo descendente	Flujo ascendente
DQO	78,8	69,8
DBO	88,6	79,6
SS	84,6	62

Tabla n° 3.2.- Características del agua de entrada y salida. Rendimientos

	Influyente (mg/l)		Efluente (mg/l)		Rendimientos (%)	
	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar
DQO	255	133	72	36	67	12
DBO	111	72	24	18	72	14
SS	71	34	17	7	71	11
DQO/DBO	2,3	0,4	3	0,7	-	-

c) Cargas aplicadas

Se ha trabajado con cargas bastante altas, oscilando entre 3,5 y 11,9 kg de DQO/m³.d, aplicando cargas mayores para filtros con circulación descendente, aunque el límite de cargas aplicadas, con buenos rendimientos ronda los 7 kg de DQO/m³.d.

d) Lavados

En los sistemas descritos se indica la necesidad de realizar lavados para eliminar la biomasa muerta y evitar la colmatación del filtro con la biopelícula. Estos lavados suelen ser con agua y aire en sentido ascendente para los lechos inundados. En los lechos fluidificados estos se hacen en sentido descendente.

Tabla nº 3.3.- Velocidades de paso en los lavados

	Flujo descendente	Flujo ascendente
Aire de lavado (m/h)	50	70
Agua de lavado (m/h)	50	20

e) Aplicaciones

Los estudios realizados y consultados abarcan una amplia gama de aplicaciones, tanto a nivel de depuración de aguas urbanas como industriales. Su aplicación no se limita a eliminación de contaminación orgánica sino que también hay muchos estudios de nitrificación y eliminación de fósforo.

f) Ventajas

Todos los estudios marcan una serie de ventajas para estos tipos de sistemas:

- necesidades bajas de espacio
- naturaleza modular
- ausencia de decantadores secundarios
- amplia gama de aplicaciones:
 - . adaptación al tratamiento de varios tipos de contaminación (orgánica - nitrógeno)
 - . fácil inclusión en un tratamiento en serie
 - . utilización en vertidos de tipo industrial

g) Comparación de algunos rellenos

A continuación se va a hacer una comparación entre tres tipos de relleno, a partir de los artículos consultados, ya que son las patentes más utilizadas en el mercado en este momento y que en el apartado siguiente pasaremos a describir más detalladamente.

Se ha trabajado con estos materiales en dos tipos de lecho: con el biocarbon y Biopur se ha trabajado con flujo descendente, mientras que con el Biostryr el sentido de circulación del agua es ascendente.

Los materiales utilizados son de tipo granular de polietileno en el caso del Biostyr, de naturaleza plástica rugosa el Biopur y de arcillas expandidas el Biocarbon.

Las características de estos materiales se resumen en:

Tabla nº 3.4.- Resumen de características de los rellenos Biopur, Biostyr y Biocarbono

	BIOCARBON	BIOSTYR	BIOPUR
Tipo de reactor	Flujo descendente	Flujo ascendente	Flujo descendente
Medio filtrante	arcillas expandidas	partículas de polietileno	Elementos plástico rugosas
Tamaño de las partículas	2,5-3,5 mm	3-3,5 mm	
Altura del lecho	1,97 m	2,19 m	3,18 m
Altura de lecho aireado	1,625 m	2,19 m	3,18 m
Volumen de filtro	0,131 m ³	0,146 m ³	0,257 m ³
Superficie específica	1450 m ² /m ³	1050 m ² /m ³	240
Porosidad	0,40	0,39	0,89
Sección de paso	0,0665 m ²	0,0665 m ²	0,0674 m ²

Estos materiales se investigaron aplicándose a una nitrificación de aguas residuales. Las conclusiones obtenidas han sido que se consiguen unas tasas de nitrificación altas en un tratamiento terciario. Como la superficie específica del medio filtrante es alta, las tasas de nitrificación alcanzadas son mayores que en otros sistemas. Por otro lado el pequeño volumen necesario en comparación con otros sistemas lo hace adecuado cuando existan limitaciones de superficie. Las tasas de nitrificación conseguidas en condiciones óptimas de funcionamiento son de 700 +/- 100 g N/m³.d, 1500 +/- 200 N/m³.d y 400 +/- 50 g N/m³.d para el Biocarbon, Biostyr y Biopur respectivamente.

h) Estudio de seguimiento de 12 plantas de depuración de aguas residuales

Hay también una serie de estudios que analizan los resultados de docena plantas depuradoras destinadas a la depuración biológica de aguas residuales, en concreto con sistemas de lechos biológicos inundados, con una capacidad entre 7.500 y 150.000 h.e. Los resultados obtenidos muestran como con cargas menores de 7 kg de DQO, los efluentes cumplen las limitaciones exigidas por la legislación vigente para la DBO y que los procesos consiguen unos altos rendimientos en eliminación en SS.

Las características de estas plantas son:

- capacidades de tratamiento para 7.500 a 150.000 h.e
- necesidades de un pretratamiento y decantación primaria
- aguas residuales tratadas de naturaleza doméstica
- los rellenos utilizados son arcillas expandidas con granulometría que varía entre 1,7 y 6 mm.
- se trabajó con unas cargas volumétricas que oscilan entre 3,5 y 11,9 kg DQO/m³.d
- la carga hidráulica varía entre 1,2 y 5,6 m/h con una velocidad de filtración distinta en función de la dirección del flujo (2,6 m/h para flujos ascendentes y 1,7 m/h para flujos descendentes).

Los gráficos que recogen los resultados obtenidos muestran como para valores de unos 7 kg de DQO/m³.d los resultados finales pueden sobrepasar en algunos casos los

25 mg/l de DBO en el efluente, pero con cargas entre 5,5 a 6 kg se obtienen prácticamente un 100% de resultados por debajo de este valor. Con aplicaciones de cargas altas se hacen más frecuentes las necesidades de lavados.

En cuanto a las necesidades de energía del sistema hay que decir que son importantes, tanto para la aireación como para el bombeo, así como para los lavados. Las necesidades de aireación oscilan entre los 11,6 kg de oxígeno/kg de DQO eliminada, para el flujo descendente y los 5,7 para el caso de lechos con flujo ascendente.

3.3.- REFERENCIAS DE ALGUNAS PATENTES

3.3.1.- El Biocarbón

Se trata de un relleno tipo de esquistos de arcillas expandidas con incrustaciones iónicas.

3.3.1.1.- Funcionamiento

El sistema que utiliza este relleno está patentado por OTV. Apareció en 1.976 y su funcionamiento se resume en los siguientes aspectos:

. Circulación descendente del agua bruta a través de un lecho filtrante inundado.

. Inyección del aire de proceso a través de una parrilla, directamente al

material filtrante, situado a cierta altura del fondo.

. Salida del agua depurada por la parte inferior del lecho, a nivel de solera y recogido mediante boquillas.

. El efluente es el que se utiliza para realizar los lavados del filtro.

. Los lavados se efectúan a grandes velocidades, a contracorriente y estarán formados por los siguientes pasos:

+ una secuencia sólo con aire, para desapelmazar el material

+ una secuencia aire+agua, para poner en suspensión los fangos en exceso

+ una secuencia sólo con agua, para eliminar los fangos mediante sifón.

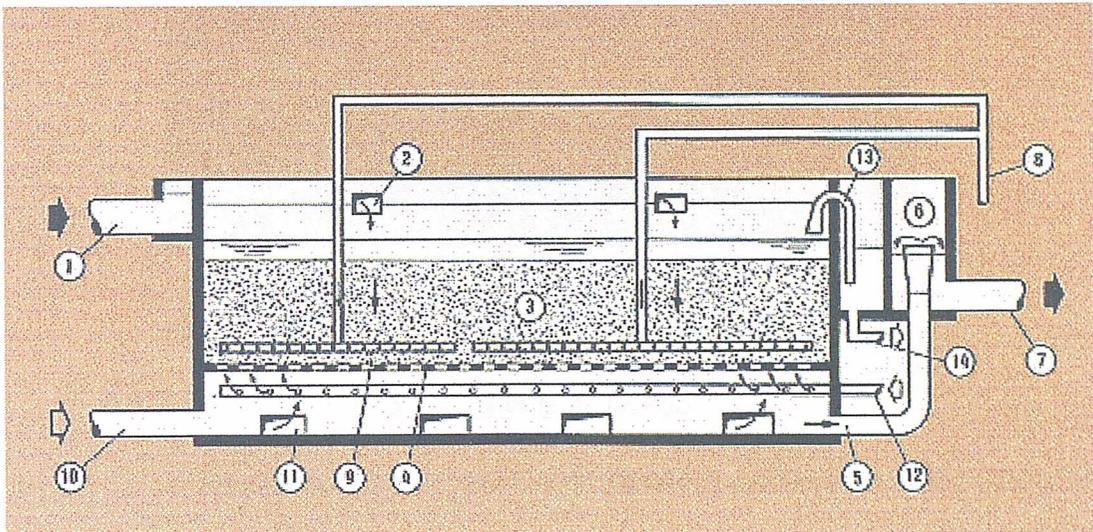
. La duración de los lavados es de aproximadamente veinte minutos.

. La carrera de lavado suele ser de veinticuatro horas aproximadamente, dependiendo de las características del agua de entrada al filtro. Estos se realizan en horas valle, generalmente por la noche, para optimizar los coste de explotación.

. El agua procedente de los lavados contiene una alta concentración de fangos biológicos que se decantan y mezclan con los fangos primarios para ser luego estabilizados y deshidratados.

Figura nº 3.1.- Esquema de funcionamiento de un sistema Biocarbhone

- | | |
|---------------------------------------|-----------------------------------|
| 1.- Entrada del agua residual | 8.- Alimentador de aire |
| 2.- Distribución del agua residual | 9.- Alimentación aire de proceso |
| 3.- Medio filtrante | 10.- Entrada del agua de lavado |
| 4.- Doble suelo | 11.- Distribución agua de lavado |
| 5.- Tubo de recogida del agua tratada | 12.- Canal entrada aire de lavado |
| 6.- Ajuste de caudal | 13.- Recogida de fangos |



7.- Salida del agua tratada

14.- Salida de fangos

- a) Eliminación de materias en suspensión y materia orgánica en un tratamiento secundario.

- b) Eliminación de materias en suspensión, materia orgánica, y además una nitrificación (en tratamiento secundario). Esto se consigue gracias a una reducción de las cargas aplicadas y también con una disminución de la granulometría del material.

- c) Eliminación de las materias en suspensión y la materia orgánica, nitrificación-desnitrificación (en tratamiento secundario).

Estos tratamientos pueden ser aplicables a todo tipo de agua en la que sea factible la depuración biológica, tanto urbana como industrial, y que no excedan cargas de 400 mg DBO₅/l para evitar una demanda local de oxígeno que pueda conducir a procesos de anaerobiosis. En caso de tener vertidos más concentrados se procederá a realizar recirculación del agua tratada.

3.3.1.4.- Algunos ejemplos

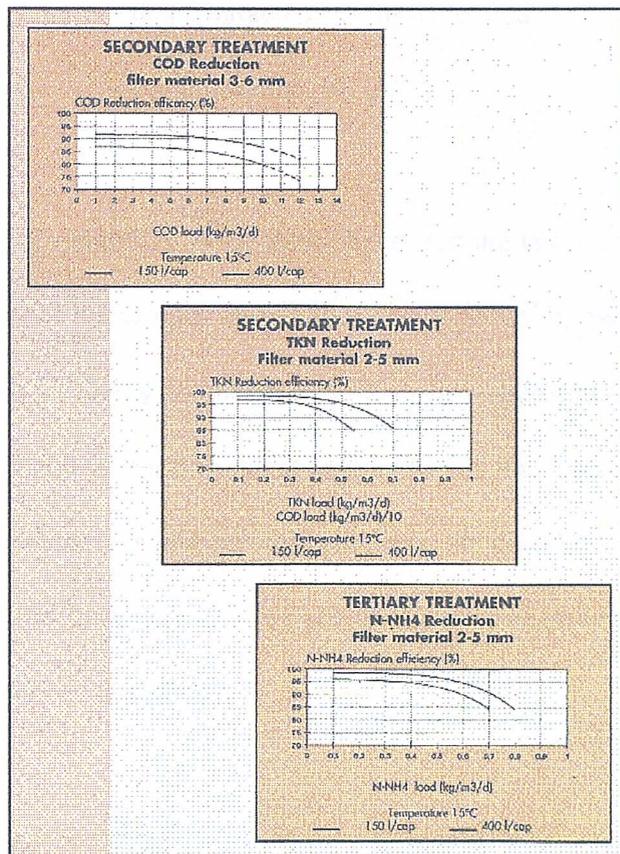
Ver la Tabla nº 3.5.

3.3.1.5.- El ejemplo de la EDAR de IBIZA

Desde el año 1.982 funcionan numerosas estaciones depuradoras de

aguas residuales con el relleno *Biocarbón*. Se describe a continuación la primera instalación de este tipo en España: *EDAR IBIZA-2ª FASE*.

Figura nº 3.3.- Algunos resultados obtenidos con el sistema Biocarbón



La ampliación de la EDAR de la ciudad de IBIZA consta de dos líneas de tratamiento. Durante los meses de verano, de Junio a Septiembre, se pondrá en marcha una segunda línea que tratará la contaminación de la población punta, estimada en 60.000 h-e; esta línea estará formada por una floculación mecánica

tratamiento.

La línea de fangos estará formada por:

- espesador de gravedad
- deshidratación por filtros banda
- estabilización con cal

El conjunto de este tratamiento permite la depuración de una población de 100.000 h-e con un caudal punta de 2.000 m³/h, carga orgánica máxima de 7.000 kg DBO₅/d y una carga de sólidos en suspensión de 7.500 kg SS/d. Salvo los espesadores, todos los demás elementos se encuentran en un sólo edificio de aproximadamente 50 m² con sistemas de desodorización. Esto permite la eliminación de riesgos, daños y perjuicios ambientales en una zona muy sensible por su actividad turística.

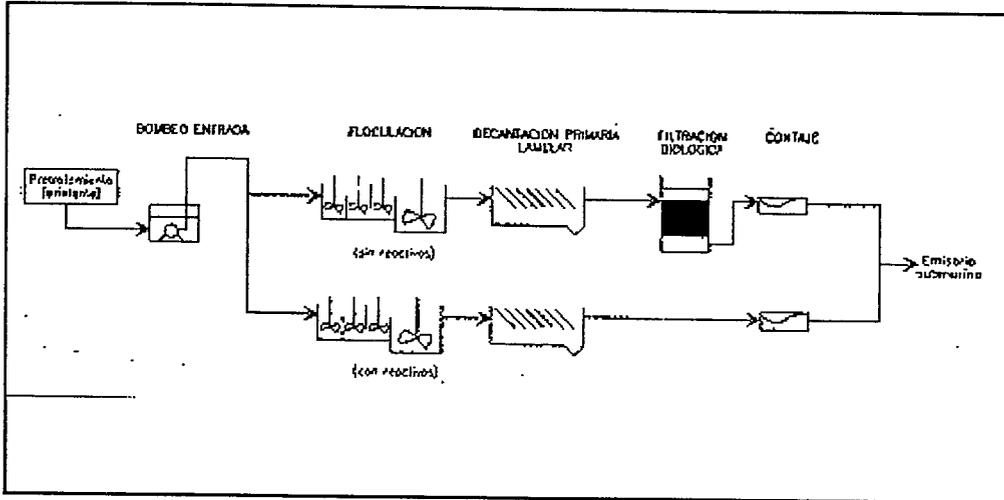
3.3.2.- El Biostyr

Con el fin de mejorar la tecnología de la filtración sumergida, OTV investigó otro tipo de relleno, caracterizado en este caso por ser flotante. Para llevar a cabo la investigación se fijaron los siguientes criterios básicos:

Tabla nº 3.5.- Algunos ejemplos de depuradoras con relleno *Biocarbono*

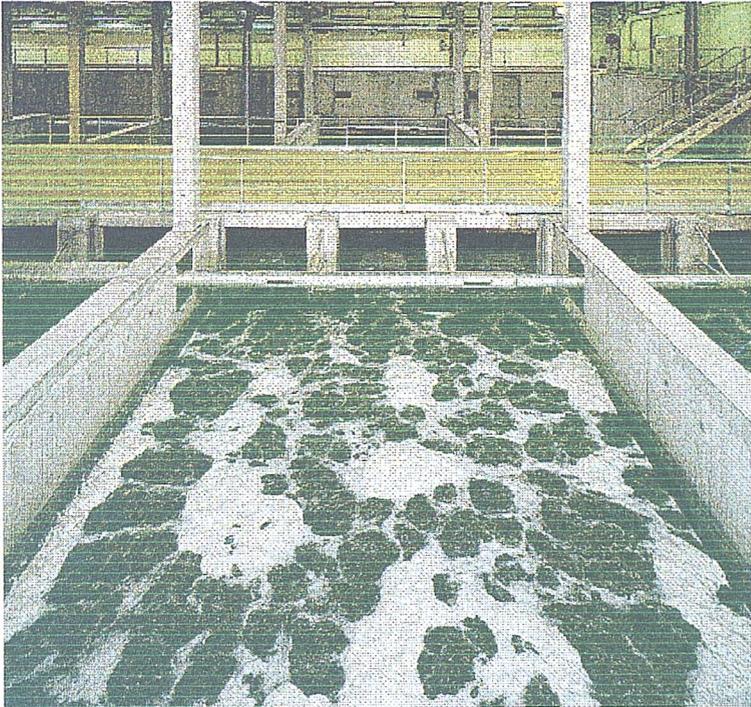
EDAR	POBLACION (h-e)	NOTAS
SOISSONS	40.000	Nitrificación de agua urbana
GRASSE	50.000	Eliminación de contaminación de efluente mixto urbano+perfumería
SANARY-BANDOL	60.000	Eliminación de la polución carbonada. Fuertes variaciones estacionales. Zona turística. Cubierta. Tratamiento desodorización
PERPIGNAN	160.000	Tratamiento de aguas urbanas
ANTIBES	170.000	Zona turística. En zona portuaria. Cubierta. Tratamiento desodorización.
MONACO	100.000	Zona turística. En centro de ciudad. Ubicada en un edificio en zona urbana. Tratamiento desodorización
IBIZA	100.000 (temporada alta) 40.000 (temporada baja)	Zona turística. Tratamiento aguas urbanas. Cubierta. Tratamiento desodorización.

Figura nº 3.4.- EDAR de Ibiza



- Minimizar el consumo de energía durante la fase de lavado
- Estudiar el tamaño del material soporte con la finalidad de optimizar la adhesión de la biomasa; si se trabaja con un material sintético se tiene mayor facilidad para conseguir las características deseadas para el soporte.
- Unificar la nitrificación y desnitrificación en el lecho

Figura nº 3.5.- Sistema Biostyr



3.3.2.1.- Descripción del proceso

Las investigaciones han llevado a un filtro que funciona de la siguiente forma:

- . Sentido de flujo ascendente, en el mismo sentido de compactación del lecho sumergido flotante; esto aumenta la retención de SS y de la DBO asociada.

- . Lavado a contracorriente, es decir en sentido descendente para evitar el ascenso masivo del relleno flotante que impediría una correcta eliminación de los fangos.

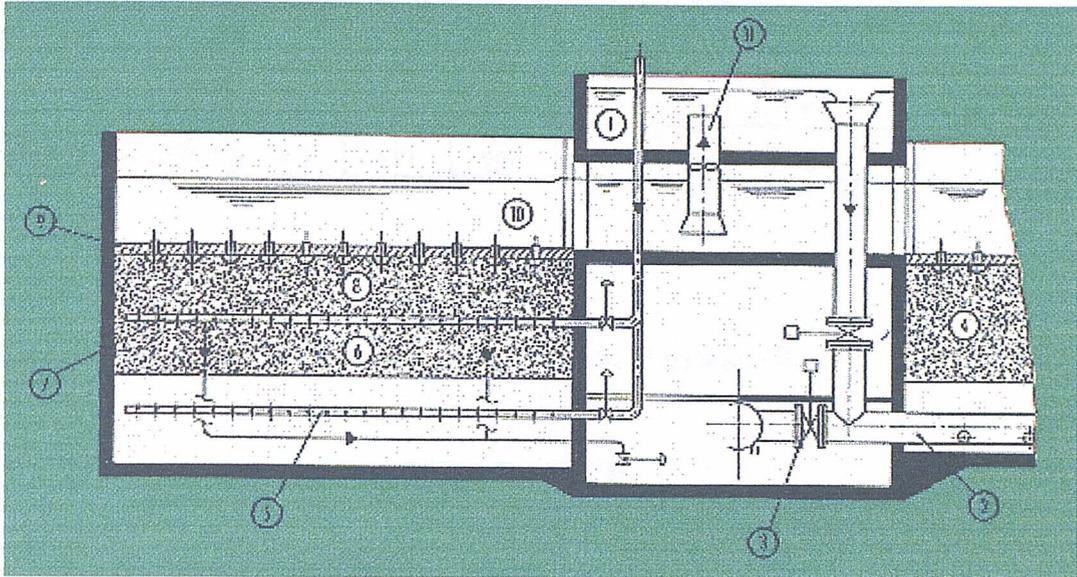
- . Alimentación de aire por la parte inferior del lecho.

3.3.2.2.- Estudios pilotos

Tras varios años de investigación en el *Centro de Investigación de Compagnie Generale des Eaux-OTV* se llegó a la construcción de unas plantas piloto, una en Francia y otra en Dinamarca.

Los resultados de la planta piloto de Nyborg (Dinamarca) demostraron que el nitrógeno total del agua tratada se mantenía por debajo de 8 mg/l, con cargas nitrogenadas entre 0'5 y 1'5 kg N/m³.d y con una temperatura entre 10 y 15 °C. La DBO y SS de salida se encontraban entre 5 y 10 mg/l.

Figura nº 3.6.- Esquema de funcionamiento con tecnología Biostyr



- | | |
|---|----------------------------------|
| 1.- Canal de alimentación | 7.- Aire de proceso |
| 2.- Orificios de alimentación de célula | 8.- Zona aerobia de filtración |
| 3.- Válvula de lavado | 9.- Plancha de retención |
| 4.- Material filtrante | 10.- Evacuación de agua depurada |
| 5.- Aire de lavado | 11.- Bomba de recirculación |
| 6.- Zona anóxica | |

En Francia los resultados obtenidos fueron similares, por lo que se construyeron las depuradoras de Saint-Jean-D'Ilac y Cergy.

3.3.2.3.- Depuradora de Saint-Jean-D'Ilac

Con una capacidad de 14.000 h-e, es la primera depuradora en funcionamiento con el sistema *Biostyr*.

Los resultados obtenidos durante una campaña de un mes son:

	DBO ₅	DQO	SS	NH ₄	NO ₃	NTK	P _i	pH
Entrada (mg/l)	301	732	504	53'9	0	67'6	18'8	7'2
Salida (mg/l)	11	65	3	0'7	7'75	4'87	12'1	7'6
Rendimientos (%)	96'3	61'1	99'4	98'7	-	92'8	35'6	-

Figura 3.7.- Algunos resultados obtenidos con el sistema Biostyr

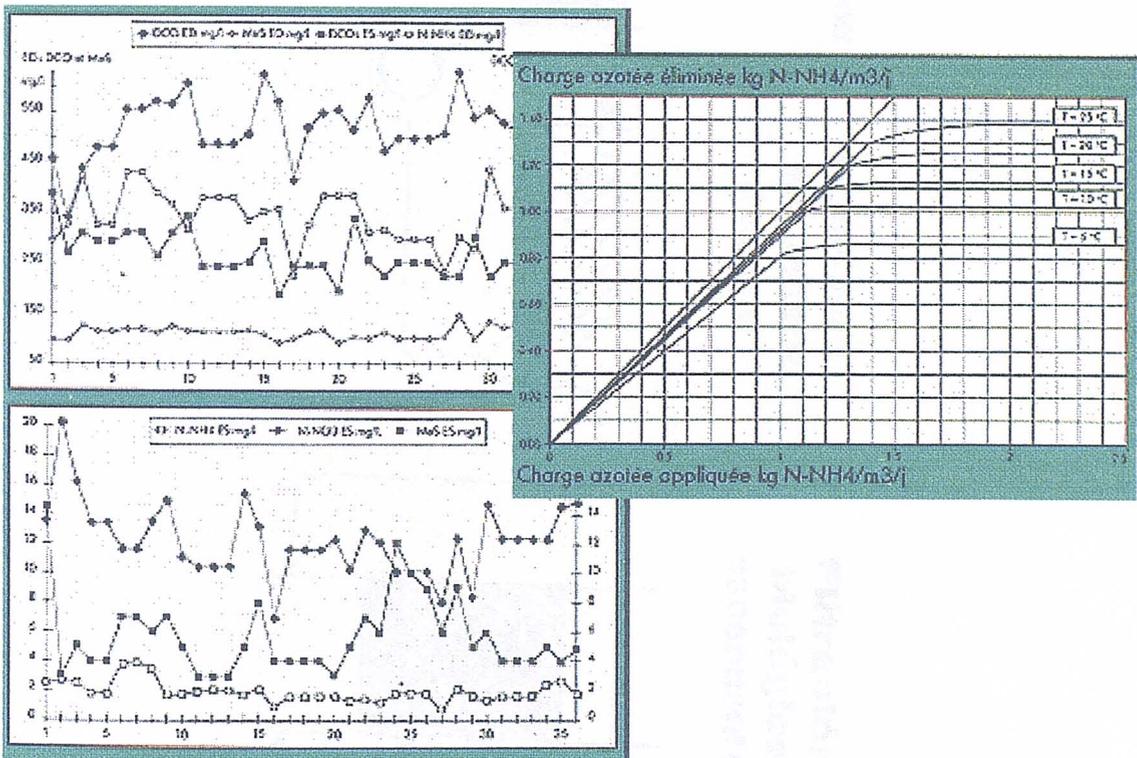
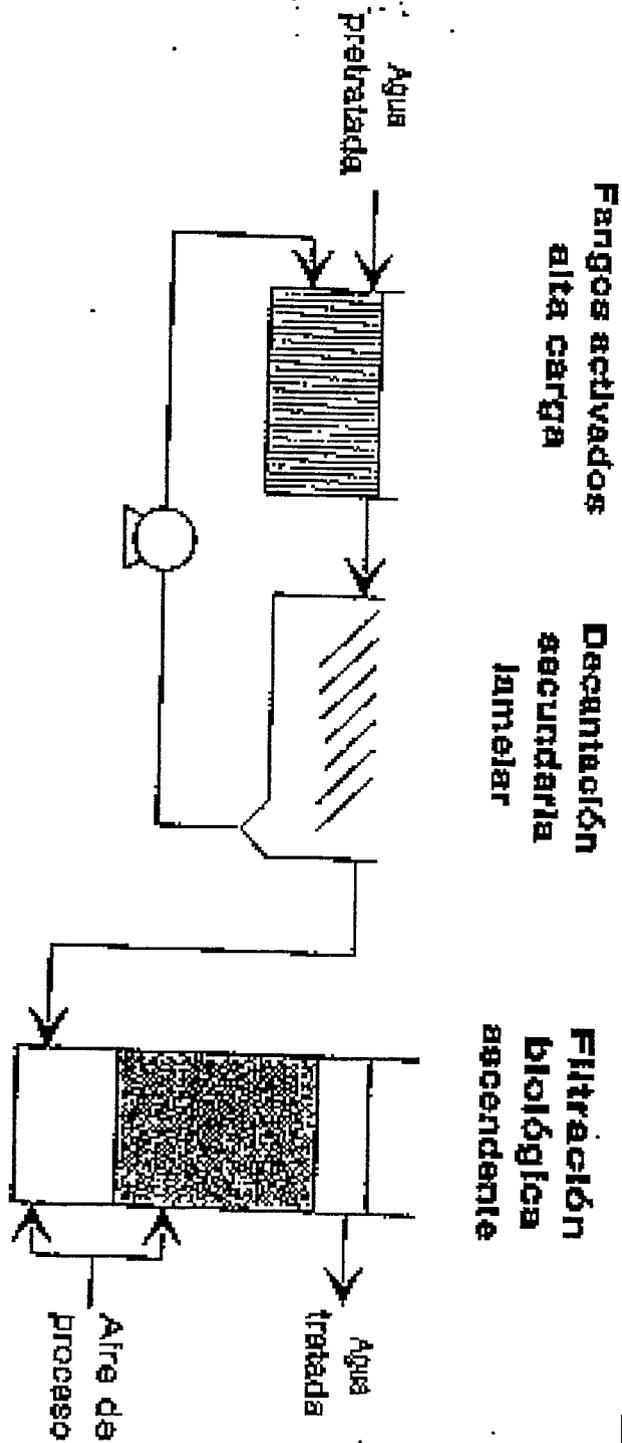


Figura n° 3.8.- Depuradora de Cergy



3.3.2.4.- Depuradora de Cergy

Consta de 15 filtros *Biostry* de 62 m² cada uno, con un volumen total de 2.200 m³. Tiene capacidad para 200.000 h-e.

3.3.3.- Relleno *Biolite*

3.3.4.1.- Funcionamiento de los filtros

El sistema que utiliza el relleno *Biolite* como soporte para los filtros biológicos inundados está patentado por DEGREMONT. Se trata de un proceso de filtración, aerobio y a través de unos filtros con este relleno que se trata de una arcilla expandida. La diferencia de este sistema reside en que el flujo de agua es ascendente y con aire a co-corriente.

3.3.4.2.- EDAR del Puerto de Santa María

Se trata de una depuradora con una capacidad de 55.000 m³/d, con caudales medios de 18.500 m³/d en invierno o temporada baja y 27.000 m³/d en temporada alta.

Esquema de tratamiento:

a) Desbaste

Tres canales independientes con:

+ reja automática de 25 mm de paso

+ Tamiz Aquaguard de 6 mm

b) Desarenado-desengrasado aireado

Tres unidades

c) Mezcla y floculación

d) Biofloculación

e) Decantación lamelar

f) Filtros biológicos *Biofor*

1ª etapa: siete filtros con lecho filtrante *biolite*

2ª etapa: cuatro filtros con lechos de arena silicea

g) Tratamiento de fangos:

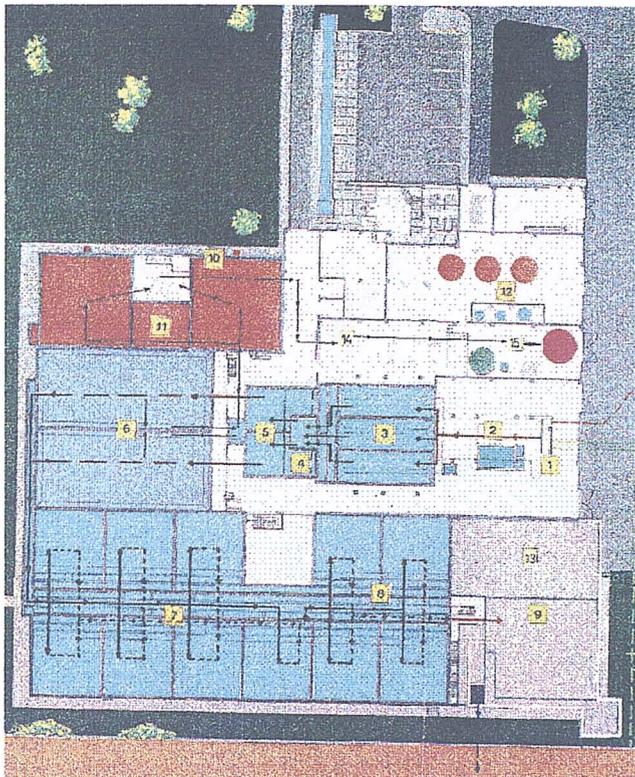
+ Espesador

+ Deshidratación por centrifuga

+ Estabilización con cal

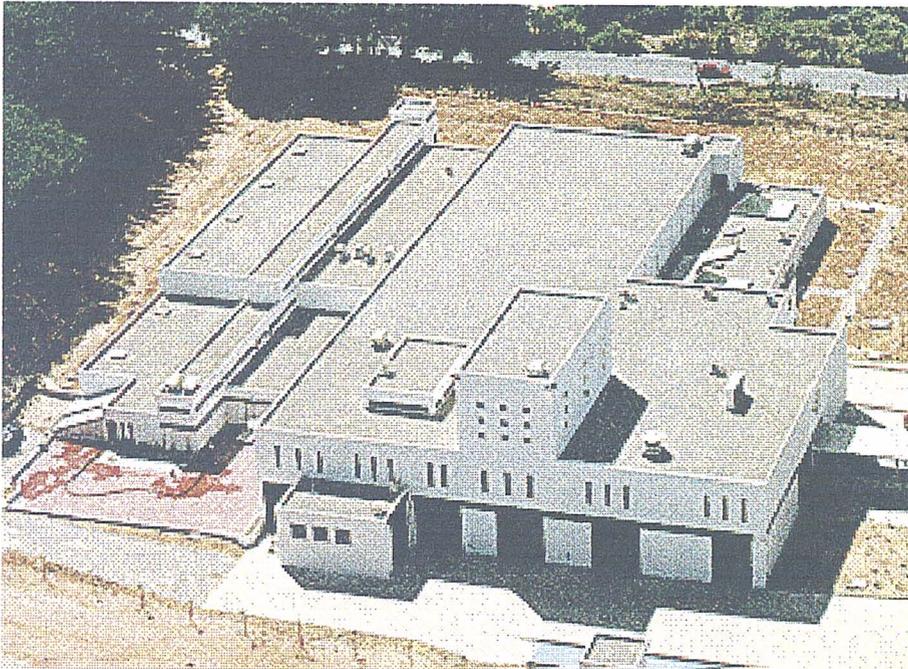
Figura nº 3.9.- Esquema de funcionamiento de la depuradora del Puerto de Santa María

- 1.- Obra de llegada
- 2.- Desbaste



- 3.- Desarenado
- 4.- Cuba de mezcla
- 5.- Cuba de flóculos
- 6.- Decantación lamelar
- 7.- Filtros biológicos 1ª etapa
- 8.- Filtros biológicos 2ª etapa
- 9.- Depósito agua tratada
- 10.- Espesadores de fangos
- 11.- Depósito de fangos espesados
- 12.- Desodorización y reactivos
- 13.- Depósito agua sucia
- 14.- Deshidratación de fangos
- 15.- Estabilización química

Figura n° 3.10.- Depuradora del Puerto de Santa María



4.- OBJETIVOS

4.- OBJETIVOS

4.1.- INTRODUCCIÓN

La utilización de lechos inundados para la depuración de las aguas es un hecho probado de buen funcionamiento y de espacio reducido.

Como en cualquier estación depuradora y en los diversos sistemas, los rendimientos son siempre mejorables, bien sea modificando las cargas o bien introduciendo elementos de refino con ese fin. Del mismo modo la reducción de espacio no siempre es exigible, pero en determinadas circunstancias sería aconsejable, como puede ocurrir en terrenos ganados al mar, o zonas costeras de lugares montañosos y así como en terrenos de alto precio agrícola.

Estas fueron en parte las razones que enfocaron las investigaciones de la cátedra

de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Granada, pionera en la línea del *aprovechamiento de la bipelícula en lechos inundados*; en dicha cátedra las primeras investigaciones en este campo datan de 1989, montándose la primera planta piloto en 1990; en 1994 se inauguró una estación a escala real con este tipo de sistema, la del Puerto de Santa María.

4.2.- OBJETIVOS PREVISTOS

Hasta 1993 el relleno utilizado había sido *esquistos de arcillas expandidas con incrustaciones iónicas* así como otras patentes extranjeras; la gran preocupación por el medio ambiente del grupo de trabajo hace, que en esta segunda fase de la investigación se pretenda utilizar un material de relleno de productos de desecho y reciclados; para ello se entra en contacto con:

- *EGMASA*, empresa de gestión Medio Ambiental de la Junta de Andalucía, para la utilización de un relleno procedente del reciclado de los plásticos de invernaderos muy extendidos en toda la costa mediterránea.

- *Cerámicas SILES* (Jun, Granada), fábrica de material de construcción tipo cerámico.

También se trabajó con otro material: la sepiolita, que aunque no procede de

residuos industriales, si cumple con las características de granulometría, densidad y superficie fijadas al comienzo de este estudio.

Teniendo en cuenta todo lo indicado hasta el momento, los **objetivos** fijados para esta investigación son:

1.- Comportamiento de los materiales en aguas residuales.

El estudio del comportamiento de los materiales debe ser el primer paso que debe ser estudiado, dada la agresividad de las aguas residuales y las características de los materiales. Este estudio nos dará a conocer:

- Comportamiento a la disgregación
- Comportamiento a la facilidad de lavado
- Comportamiento de la fijación de la biopelícula
- Comportamiento a la filtración de sólidos en suspensión.

2.- Comprobación del valor óptimo de los parámetros de diseño, atendiendo a las variables presentadas.

El conocimiento de la interrelación de las diferentes variables que intervienen en el proceso junto con los máximos rendimientos, dará valores de uso en los dos parámetros fundamentales de diseño. Este diseño y optimización se realizará con tres materiales: el material de polietileno, el material cerámico y la sepiolita. En este proceso

de optimización se pretenderá también deducir una banda de funcionamiento de la carga orgánica e hidráulica para cada uno de estos rellenos.

3.- Optimización de los ciclos de lavado en cada uno de los casos.

La optimización de los procesos de lavado suponen un aspecto muy importante en la fase de explotación del sistema.

4.- Posibilidad de eliminación de un tratamiento de afino, tipo filtro de arena o bien decantador secundario con los rellenos considerados.

Esto permitiría importantes reducciones de superficie en la instalación de estas depuradoras, por lo que serían aptas para lugares con problemas de disponibilidad de terrenos.

5.- Alternancia de flujos para mejoras y economía tanto de primera instalación como de explotación con los tres tipos de materiales.

5.- VARIABLES Y PARAMETROS



5.- PARAMETROS Y VARIABLES

5.1.- INTRODUCCION

Ya se había definido la contaminación de las aguas como *una modificación, generalmente provocada por el hombre, de la calidad del agua, haciéndola impropia o peligrosa para el consumo humano, la industria, la agricultura, la pesca, las actividades recreativas, así como para los animales domésticos y la vida natural.*

La contaminación de los cauces receptores superficiales y subterráneos tiene su origen en:

- La precipitación atmosférica
- Escorrentía agrícola y de zonas verdes
- Escorrentía superficial de zonas urbanizables

- Vertidos de aguas procedentes de usos domésticos
- Vertidos industriales

Dentro de las distintas clasificaciones que pueden establecerse de las aguas residuales la más común es la que se hace en función de su procedencia:

- Drenaje
- Escorrentía
- Domésticas
 - . fecales
 - . limpieza
- Industriales
 - . comerciales
 - . industriales
- Agrarias
 - . agrícolas
 - . ganaderas

En base a todo esto otra clasificación de las aguas residuales es la siguiente:

- Aguas pluviales

Son las que proceden de la escorrentía superficial provocada por precipitaciones

atmosféricas. Está caracterizada por caudales intermitentes con una importante aportación de contaminación durante la primera media hora aproximadamente, como consecuencia del lavado de las calles, así como de la contaminación atmosférica.

- Aguas negras o urbanas

Son aguas recogidas en las aglomeraciones urbanas procedentes de vertidos de la actividad humana doméstica, y que puede tener una mezcla de las procedentes de actividades comerciales, industriales y agrarias integradas en el núcleo de población, así como con las aguas de drenaje y escorrentía del núcleo. Se trata de aguas con caudales y contaminaciones más regulares.

- Aguas industriales

Proceden de las actividades industriales.

- Aguas agrarias

Son aguas procedentes de actividades agrícolas y ganaderas. Se trata de una contaminación importante, que perjudica sensiblemente las características del cauce o medio receptor. Estas aguas además del contenido en sustancias similares a los vertidos de origen doméstico, pueden contener elementos propios de las actividades agrarias como fertilizantes, biocidas, estiércol y residuos varios.

5.2.- PARAMETROS QUE SE VAN A ANALIZAR

5.2.1.- pH

En la naturaleza, así como en los vertidos urbanos e industriales, existen ciertos ácidos y bases que modifican el valor del pH del agua.

En aguas residuales eminentemente urbanas el valor del pH es próximo a 7. Cuando aparecen vertidos industriales se pueden producir oscilaciones significativas en el valor del pH. Es necesario controlar estas oscilaciones para garantizar los procesos biológicos de depuración, haciéndose necesario que este se encuentre entre 6'2 y 8'5 para evitar procesos de inhibición.

5.2.2.- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

Las materias de tipo orgánico presentes en el agua residual absorben de forma natural hasta su mineralización una cierta cantidad de oxígeno, como consecuencia de los procesos de oxidación, biológicos o químicos, que se producen en el seno del agua. Un índice que permite la medida de este proceso es la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).

Se define como la cantidad de oxígeno disuelto consumida en un agua residual debido a la "oxidación biológica" de la materia orgánica biodegradable que existe en este agua, en unas determinadas condiciones de ensayo (20°C, presión atmosférica, oscuridad, y muestra diluida con agua pura manteniendo las condiciones aerobias

durante la prueba) en un tiempo dado.

Con este índice se refleja la materia orgánica que hay en el agua, indicando el oxígeno necesario para alimentar a los microorganismos y las reacciones químicas.

Suele adoptarse la DBO a los cinco días, ya que su valor se aproxima suficientemente al valor asintótico de la DBO correspondiente al ciclo del carbono.

5.2.3.- Demanda Química de Oxígeno (DQO)

El ensayo que se realiza para la determinación de la DBO, que será analizado en apartados posteriores, proporciona su resultado a los cinco días, y además puede presentar problemas por la variación de la temperatura y el tiempo.

Por ello se hace necesaria la adopción de otros métodos, que si bien no reflejan exactamente el proceso, permiten obtener valores aproximados.

De esta forma definimos la Demanda Química de Oxígeno como *la cantidad de oxígeno disuelto consumida por un agua residual durante la "oxidación química" provocada por un agente químico fuertemente oxidante.*

La relación encontrada entre la DBO₅ y la DQO indica la importancia de los vertidos industriales dentro del agua residual analizada y sus posibilidades de

biodegradabilidad. De esta forma:

- Para $\frac{DBO_5}{DQO} < 0,2$ la biodegradabilidad del agua es baja

- Para $0,2 < \frac{DBO_5}{DQO} < 0,4$ la biodegradabilidad es moderada

- Para $\frac{DBO_5}{DQO} > 0,4$ la biodegradabilidad del agua es alta

5.2.4.- Sólidos

El contenido total de materia sólida en el agua constituye los sólidos totales, comprendiendo tanto sólidos orgánicos como inorgánicos. Estos sólidos totales se pueden encontrar como:

- *Sólidos disueltos*, que no sedimentan, encontrándose en el agua en estado iónico o molecular.

- *Sólidos en suspensión*, que a su vez se dividen en sedimentables y no sedimentables.

A su vez, cada una de estas clases de sólidos puede clasificarse de nuevo en base

a su volatilidad a 500 °C en fijos y volátiles.

Es necesario un índice que represente los elementos orgánicos e inorgánicos presentes en el agua, para lo cual la clasificación anterior conduce a un conjunto de parámetros, de los que en esta investigación se han analizado:

- *Sólidos totales*
- *Sólidos en suspensión*
- *Sólidos en suspensión sedimentables*

5.3.- VARIABLES QUE SE VAN A CONSIDERAR

El sistema de depuración de filtros biológicos inundados se encuentra limitado a un conjunto de patentes que pueden encontrarse en el mercado, de forma, que aunque muy similares en su funcionamiento, presentan ciertas características propias en función del relleno que se utilice. Estas patentes han sido analizadas ya en apartados anteriores.

En general a la hora de diseñar un filtro biológico inundado, las variables que se deben considerar son:

1.- Carga hidráulica ($m^3/h/m^2$)

Entendiendo como tal el caudal de agua de proceso, medio en m^3/h , que atraviesa el filtro, en función de la superficie del lecho, medida en m^2 .

2.- Carga orgánica (kg DBO₅/m³.d)

Entendida como la materia orgánica, medida en kg DBO₅/d, que se introduce por volumen de reactor medio en m³.

3.- Aire de proceso, que permita determinar los kg O₂/kg DBO₅ eliminado.

4.- Ciclos de lavado:

. *Carrera del filtro*, entendida como el tiempo que debe de haber entre uno y otro lavado.

. *Duración de los ciclos de lavado*

. *Caudal del agua de lavado*

. *Caudal del aire de lavado*

5.4.- METODOS ANALITICOS

Bajo la terminología de **aguas residuales** se agrupan habitualmente aguas de orígenes muy diversos. Se encuentran, pues, en esta categoría las aguas de origen urbano formadas por las aguas domésticas y las aguas residuales cargadas de heces y otros residuos de naturaleza orgánica; toda esta masa de efluentes está más o menos diluida por aguas de otra naturaleza como las aguas pluviales. Pueden añadirse según los casos las aguas de origen industrial y agrícola. El agua, así colectada en una red de alcantarillado, aparece como un líquido turbio, generalmente grisáceo, que contienen

materias en suspensión de origen mineral y orgánico en cantidades extremadamente variables. A esta carga se asocian casi siempre materias grasas y coloidales.

Las aguas residuales de origen industrial tienen generalmente una composición más específica y directamente ligada al tipo de industria considerada. Independientemente de la carga de la contaminación orgánica o mineral, de su carácter putrescible o no, pueden presentar características de toxicidad propia debidas a los productos químicos transportados. Dada la gran variedad de los productos utilizados en la industria, el trabajo del analista será siempre delicado y complicado por la presencia de materias orgánicas y minerales en cantidades importantes.

La valoración de las características de contaminación de un agua, debe efectuarse sobre muestras tomadas correctamente y el análisis sólo será válido si las *muestras son realmente representativas de las condiciones y calidad del agua*. La toma de muestras puede ser difícil en el caso de las aguas residuales ya que estas están caracterizadas por la heterogeneidad tanto en la composición como en el caudal. Para conocer la calidad media de un vertido se recogerán muestras durante un período no superior a 24 horas.

La muestra debe conservarse y transportarse en una nevera y a una temperatura próxima a los 4 °C. Para efectuar análisis y conseguir que los resultados sean representativos, es indispensable que no hayan variado las muestras. Para ello, se proponen en la tabla 5.1, diversas técnicas mediante las cuales pueden *fijarse* estas

muestras.

Tabla n° 5.1.- Técnicas de fijación de las muestras

TIPO DE ANALISIS	TECNICAS O PRODUCTOS QUE SE UTILIZAN	TIEMPO MAXIMO SIN VARIACION
Acidez-Alcalinidad	Refrigeración a 4 °C	24 horas
DBO ₅	Refrigeración a 4 °C	6 horas
Calcio	Ninguna recomendación	24 horas
DQO	2 ml/l H ₂ SO ₄ , d=1,84	7 días
Cloruros	Ninguna recomendación	7 días
Color	Refrigeración a 4 °C	24 horas
Cianuros	NaOH hasta pH=10	24 horas
Oxígeno disuelto	Determinar <i>in situ</i>	
Fluoruros	Ninguna recomendación	7 días
Dureza	Ninguna recomendación	24 horas
Metales totales	5 ml/l HNO ₃ , d=1,33	varias semanas
Metales disueltos	Filtrar y añadir 3 ml/l de HNO ₃ , d=1,33	varias semanas
Nitrógeno amoniacal	40 ml/l HgCl ₂ o refrigeración a 4 °C	7 días
Nitrógeno total Kjeldahl	Idem	
Nitrógeno nitrato	Idem	
Nitrógeno nitrito	Idem	
Aceites y grasas	2 ml/l H ₂ SO ₄ , o refrigeración a 4 °C	24 horas
Carbono orgánico	2 ml/l H ₂ SO ₄ , pH=2	7 días

Las determinaciones que se van a realizar en este estudio son:

- pH
- DBO₅ en mg/l de O₂ disuelto en el agua

- DQO en mg/l de O₂ cedido por el dicromato potásico
- Sólidos en suspensión
- Sedimentabilidad del fango

5.4.1.- Determinación de sólidos

Sólidos totales es la expresión que se aplica a los residuos de materiales que quedan en un recipiente después de la evaporación de una muestra y su consecutivo secado en estufa a temperatura definida. Los sólidos totales incluyen los *sólidos en suspensión*, o porción de sólidos totales retenida por un filtro, y los *sólidos disueltos* o porción que atraviesa el filtro.

El tipo de soporte del filtro, el tamaño del poro, la porosidad, el área y el espesor del filtro, así como la naturaleza física y el tamaño de las partículas y la cantidad de material depositado en el filtro son los factores principales que afectan a la separación de los sólidos suspendidos y los disueltos.

Sólidos fijados es la expresión aplicada al residuo de sólidos totales, suspendidos o disueltos después de someterse a ignición durante un tiempo determinado y a una temperatura especificada. La pérdida de peso por ignición se debe a los *sólidos volátiles*. Las determinaciones de sólidos fijados y volátiles no distinguen exactamente entre materias orgánica e inorgánica porque la pérdida de peso por ignición no se limita al material orgánico, sino que incluye también pérdida por descomposición o volatilización

de algunas sales minerales. Una óptima caracterización de la materia orgánica puede llevarse a cabo mediante pruebas como la del carbono orgánico total, DBO₅ y DQO.

Sólidos sedimentables es la expresión aplicada al material que se desprende de la suspensión en un período determinado. Puede incluir material flotable, dependiendo de la técnica.

Fuentes de error y variabilidad

La temperatura a la que se seca el residuo incide en gran medida en los resultados, debido a que las pérdidas de peso derivadas de la volatilización de materia orgánica, el agua ocluida, el agua de cristalización y los gases a partir de la descomposición inducida por el calor, así como las ganancias producidas por la oxidación, dependen de la temperatura y tiempo de calentamiento.

Los residuos secados a 103-105 °C pueden retener no sólo agua de cristalización, sino también algo de agua ocluida. Como resultado de la conversión del bicarbonato en carbonato, habrá una pérdida de CO₂. La pérdida de material orgánico por volatilización será por lo general muy ligera. Dado que la eliminación de agua ocluida es marginal a esta temperatura la obtención de peso constante puede ser muy baja.

Los residuos secados a 180 +/- 2 °C perderán casi toda el agua ocluida. Puede permanecer un poco de agua de cristalización, especialmente cuando hay sulfatos. La

materia orgánica puede perderse por volatilización, pero no desaparece por completo. La conversión de bicarbonatos en carbonatos produce pérdida de CO₂, y los carbonatos pueden descomponerse parcialmente en óxidos o sales básicas. Pueden perderse algunos cloruros y sales nitradas. En general, la evaporación y el secado de muestras de agua a 180 °C proporciona valores sobre sólidos disueltos que están más próximos a los obtenidos mediante suma de las especies minerales determinadas individualmente que a los valores de los sólidos disueltos logrados mediante secado a la temperatura más baja.

Los resultados para residuos ricos en aceite y grasa pueden ser cuestionables debido a la dificultad que supone el secado a peso constante en un tiempo razonable.

Los análisis realizados con algún propósito especial pueden exigir una desviación de los procedimientos establecidos para incluir un componente no habitual e los sólidos medidos. Cualesquiera que sean las variaciones técnicas que se introduzcan, éstas deben registrarse y presentarse con los resultados.

Manipulación y preservación de la muestra

Utilícense botellas de plástico o vidrio refractario, teniendo siempre en cuenta que el material en suspensión no debe adherirse a las paredes del recipiente. Iníciase el análisis lo antes posible, pues resulta poco útil preservar la muestra. Refrigérese a 4 °C hasta realizar el análisis para reducir al mínimo la descomposición microbiológica de los sólidos.

5.4.1.1.- Sólidos totales en suspensión secados a 103 °C-105 °C

a) Principio

Se filtra una muestra bien mezclada por un filtro estándar de fibra de vidrio, y el residuo retenido en el mismo se seca a un peso constante a 103-105 °C. El aumento de peso del filtro representa los sólidos totales en suspensión. Si este material obtura el filtro y prolonga la operación de filtrado, la diferencia entre el total de sólidos y el total de sólidos disueltos puede proporcionar un cálculo aproximado de los sólidos totales en suspensión.

b) Interferencias: Elimínense de la muestra las partículas gruesas flotables o los aglomerados sumergidos de materiales no homogéneos, si se decide que su inclusión no es deseable en el resultado final. Puesto que un residuo excesivo sobre el filtro puede formar una costra hidrófila, límitese el tamaño de la muestra para que proporcione un residuo no mayor de 200 mg. Para las muestras ricas en sólidos disueltos, lávese meticulosamente el filtro para asegurar la eliminación del material disuelto. Los tiempos de filtración prolongados, consecuencia de la obturación del filtro, pueden originar resultados altos debido a una cantidad excesiva de sólidos capturados del filtro obturado.

c) Instrumental

- *Discos de filtrado de fibra de vidrio*, sin aglutinante orgánico.

- *Aparato de filtrado*, tipo dispositivo de filtrado con reservorio y disco de arandela gruesa como soporte del filtro en nuestro caso.

- *Horno de secado*, para operaciones a 180 ± 2 °C
- *Balanza de análisis*, capaz de pesar hasta 0,1 mg.
- *Plancheta de acero inoxidable*.

d) Procedimiento

1.- *Preparación del disco de filtrado de fibra de vidrio*: insértese el disco con una cara rugosa hacia arriba en el aparato de filtrado. Hágase el vacío y lávese el disco con tres volúmenes sucesivos de 20 ml de agua destilada. Continúese succionando hasta eliminar todo vestigio de agua, y retírese el agua de lavado. Quítese el filtro del aparato de filtrado y trasládese a una plancha de aluminio o acero inoxidable. Alternativamente, procédase a separar el crisol y la combinación de filtro se está utilizando un crisol de Gooch. Séquese en horno a $103-105$ °C durante una hora. Si se van a medir sólidos volátiles, incinérese a 550 ± 50 °C en horno de mufla, enfríese en desecador hasta equilibrar la temperatura y procédase a pesar. repítase el ciclo de secado o incineración, enfriamiento, desecación y pesado hasta obtener un peso constante o hasta que la pérdida de peso sea menor de 0,5 mg en tres pesadas sucesivas. Consérvese en desecador hasta que se necesite. Pesar inmediatamente antes de usar.

2.- *Selección del filtro y tamaños de la muestra*: Elegir un volumen de muestra que proporcione entre 2,5 y 200 mg de residuo seco. Si se requiere más de 10 minutos para completar el filtrado, se deberá aumentar el tamaño del filtro o disminuir el tamaño de la muestra, pero en cualquier caso no se debe producir menos de 2,5 mg de residuo.

3.- *Análisis de la muestra.* Móntese el aparato de filtrado y el filtro e inicie la succión. Para ajustar el filtro, humedézcase éste con una pequeña cantidad de agua destilada. Filtrese un volumen medido de muestra bien mezclada por el filtro de fibra de vidrio. Lávese con tres volúmenes sucesivos de 10 ml de agua destilada, permitiendo el drenaje completo del filtro entre los lavados, y continúese succionando durante unos tres minutos después de terminar el filtrado. Sepárese cuidadosamente el filtro del aparato y trasládese a una plancheta de aluminio o acero inoxidable. alternativamente, procédase a separar el crisol y la combinación de filtro del adaptador de crisol y se está utilizando un crisol de Gooch. Séquese en horno a 103-105 °C durante una hora al menos, enfríese en un desecador para equilibrar la temperatura y pésese. Repetir el ciclo de secado, enfriamiento, desecación y pesado hasta obtener un peso constante o hasta que la pérdida de peso sea menor del 4% del peso previo o menor de 0,5 mg (escoger la menor de ambas).

4.- Cálculo

$$SS \text{ (mg/l)} = \frac{(A-B) \times 1.000}{\text{volumen muestra (ml)}}$$

donde:

SS, mg de sólidos totales en suspensión por litro

A, peso del filtro + residuo seco, en mg

B, peso del filtro, en mg.

5.- Precisión

En los estudios efectuados por dos analistas sobre cuatro series de diez determinaciones cada una, la desviación estandar fue de 5,2 mg/l (coeficiente de variación 3%) a 15 mg/l; 24 mg/l (10%) a 242 mg/l, y 13 mg/l (0,76%) a 1.707 mg/l.

Se realizaron análisis por duplicado en un sólo laboratorio, de muestra de aguas naturales y residuales, con una desviación estándar de diferencias de 2,8 mg/l.

5.4.1.2.- Sólidos sedimentables

a) Discusión general

Los sólidos sedimentables de las aguas de superficie y salinas, así como los residuos domésticos e industriales, pueden ser determinados y expresados en función de un volumen (ml/l) o de un peso (mg/l).

b) Instrumental

La prueba volumétrica requiere solamente un cono de Imhoff.

c) Procedimiento volumétrico

Llénese un cono de Imhoff hasta la marca 1-l con una muestra bien mezclada. Déjese sedimentar durante 45 minutos, removiendo a continuación suavemente las paredes del cono con una varilla o mediante rotación; manténgase en reposo 15 minutos más y regístrese el volumen de sólidos sedimentables del cono como milímetros por litro.

Si la materia sedimentada contiene bolsas de líquido entre partículas gruesas, evalúese el volumen de aquellas y réstese del volumen de sólidos sedimentados. El límite inferior práctico de la medición depende de la composición de la muestra y, en general, es del orden de 0,1 a 1,0 ml/l. En caso de producirse una separación de materiales sedimentables y flotables, no deben valorarse estos últimos como material sedimentable.

d) Cálculo

sólidos sedimentables (mg/l) = sólidos totales en suspensión (mg/l) - sólidos no sedimentables (mg/l)

e) Precisión y sesgo

No se dispone actualmente de la precisión y sesgo

5.4.2.- Determinación de la DBO₅

Introducción

El test de la demanda biológica de oxígeno ha sido constantemente objeto de discusiones. Mejorado y precisado, en condiciones de pH, temperatura y salinidad, constituye sin embargo un medio válido para el estudio de los fenómenos naturales de destrucción de las materias orgánicas. Las dificultades de aplicación, de interpretación de resultados y de reproductibilidad, se deben al carácter biológico del material. La curva de consumo de oxígeno es el principio débil y después se eleva rápidamente hasta un máximo sostenido, bajo la acción de la fase logarítmica de crecimiento. La oxidación de

las materias orgánicas no es sólo la causa del fenómeno; también intervienen la oxidación de los nitritos y de las sales amoniacales así como las necesidades originadas por los fenómenos de asimilación y de formación de nuevas células.

De igual modo, las variaciones se producen según las especies de gérmenes, su concentración y su edad, la presencia de bacterias nitrificantes y la de protozoos consumidores propios de oxígeno que se nutren de bacterias. Además, en el curso de los catabolismos, las reacciones de descarboxilación, hidrólisis, hidratación, dismutación, no se traducen en un consumo de oxígeno. Contrariamente, el oxígeno intermolecular puede emplearse en fines respiratorios, lo que redundaría entonces en una disminución del oxígeno exógeno medio.

Por otra parte, ciertos cuerpos reductores como los sulfuros, sulfitos, hierro ferroso susceptibles de encontrarse en los efluentes industriales, contribuyen también al consumo de oxígeno. El problema se complicará todavía más en presencia de mezclas de vertidos de orígenes diversos. Prácticamente, la demanda bioquímica de oxígeno deberá permitir la apreciación de la carga del medio considerado en sustancias putrescibles, su poder autodepurador, y poder deducir la carga máxima aceptable, principalmente al nivel de los tratamientos primarios de las estaciones de depuración.

Para su determinación, se dispone de:

- **métodos de dilución**, que tienen por principio establecer una dilución del agua rica en materias orgánicas con un agua que aporte el oxígeno disuelto en que se mida la cantidad residual, en condiciones operatorias bien determinadas.

- **métodos manométricos**. Consiste en la incubación de la muestra en un recinto hermético, manteniéndola agitada en presencia de una atmósfera de aire. Se controlan los cambios gaseosos eliminando el CO₂ que se produce (se fija sobre un alcalí) y midiendo el consumo de aire. Puede registrarse bien sea una depresión, o bien la cantidad de oxígeno que se suministra para restablecer la presión inicial, a medida de las necesidades. Con este método puede trazarse la curva de consumo de oxígeno en función del tiempo.

Se utilizará este último método.

Principio

El consumo de oxígeno del medio estudiado está inmediatamente compensado por un aporte de oxígeno puro, el anhídrido carbónico ha sido eliminado. La medida de la cantidad de oxígeno con relación al tiempo corresponde a la demanda bioquímica de oxígeno del medio en las condiciones dadas.

Material necesario

El aparato está formado por un recipiente inactínico de 600 ml aproximadamente,



que contiene un captador de anhídrido carbónico, formado por una copela provista de una sustancia absorbente, impregnada de una solución concentrada con sosa; el recipiente se introduce en un frigotermostato que mantiene la solución a 20 °C, dispuesto sobre un agitador magnético y unido por una parte a un manómetro diferencial sensible.

Expresión de los resultados

El aparato da directamente el contenido de oxígeno expresado en miligramos por litro.

Observaciones

Para muy fuertes contenidos de materias orgánicas puede ser preciso diluir a 1/4 o 1/10 para simplificar la curva de medidas. Teniendo en cuenta el oxígeno del agua a examinar, también puede ser necesario practicar la inoculación.

La actividad de las bacterias nitrificantes puede prevenirse por una pasteurización a 65 °C seguida de una inoculación.

Los valores obtenidos por los métodos instrumentales son generalmente más elevados que los obtenidos por el método de la dilución (20% aproximadamente), sin que sea posible calcular un coeficiente de correlación constante. Teniendo en cuenta la imprecisión del método de dilución y las condiciones muy artificiales de la mediada, los resultados obtenidos por el método instrumental son ciertamente más exactos por

comparación con las condiciones de oxigenación que reinan en el medio.

5.4.3.- Determinación de la Demanda Química de Oxígeno

El requerimiento químico de oxígeno se utiliza como una medida del equivalente de oxígeno del contenido de materia orgánica de una muestra susceptible de oxidación por un oxidante químico fuerte. Para la toma de muestras de una fuente específica, la DQO puede relacionarse con la DBO. La prueba es útil para monitorizar y controlar después de haber establecido la correlación. Se prefiere el método de reflujo de dicromato a los procedimientos que utilizan otros oxidantes debido a su mayor capacidad oxidante, a su aplicabilidad, a una mayor variedad de muestras y a su fácil manipulación. La oxidación de la mayoría de los compuestos orgánicos es del 95 al 100% del valor teórico. La piridina y los compuestos relacionados con ella resisten la oxidación, y los compuestos orgánicos volátiles sólo son oxidados en la medida en que permanecen en contacto con el oxidante.

Selección del método

El método de reflujo abierto es adecuado para una amplia gama de residuos en los que se prefiere un gran tamaño de muestra. Los métodos de reflujo cerrados son más económicos en cuanto al uso de sales metálicas como reactivos, pero requieren homogeneización de las muestras que contengan sólidos suspendidos para obtener resultados reproducibles. Es posible obtener en el mercado ampollas y tubos de cultivo con reactivos medidos previamente. Basta seguir las instrucciones proporcionadas por

el fabricante.

A continuación pasamos a describir el método del reflujo abierto.

a) Principio

La mayor parte de la materia orgánica resulta oxidada por una mezcla ebullición de los ácidos crómico y sulfúrico. Se somete a reflujo una muestra en una solución ácida fuerte con exceso conocido de dicromato de potasio. Después de la digestión, el dicromato no reducido que quede se determina con sulfato de amonio ferroso para determinar la cantidad de dicromato consumida y calcular la materia orgánica oxidable en términos de equivalente de oxígeno. Manténgase constantes las proporciones de pesos de reactivos, de volúmenes y de concentraciones cuando se utilicen volúmenes de muestra distintos de 50 ml. El tiempo estandar de reflujo de dos horas puede reducirse se ha demostrado que un período más corto produce los mismos resultados.

b) Instrumental

El instrumental para el reflujo consiste en matraces erlenmeyer de 500 a 250 ml con cuello 24/40 de vidrio esmerilado y un refrigerante de 300 mm de chaqueta Liebig, West, o equivalente con junta de cristal esmerilado 24/40, y una placaente que tenga suficiente energía para producir al menos $1,4 \text{ W/cm}^2$ de superficie de calentamiento, o equivalente.

c) Reactivos

- Solución de dicromato de potasio patrón, 0,0417 M: Disuélvase 12,259 g de dicromato de potasio, de calidad estándar primaria, secado previamente a 103 °C durante dos horas, en agua destilada y dilúyase hasta 1.000 ml.

- Reactivo ácido sulfúrico: Añádase Ag_2SO_4 , de calidad para reactivos o técnica, en cristales o en polvo, a H_2SO_4 conc. en la proporción de 5,5 g de Ag_2SO_4 /kg de H_2SO_4 . Déjese reponer de uno a dos días para disolver Ag_2SO_4 .

- Solución indicadora de ferroína: Disuélvase 1,48 g de 1,10-fenantrina monohidrato y 695 mg de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ en agua destilada y dilúyase hasta 100 ml. Esta solución indicadora puede comprarse ya preparada.

- Sulfato de amonio ferroso patrón para titulación, aproximadam 0,25M: Disuélvase 98 g de $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ en agua destilada. Añádanse 20 ml de H_2SO_4 conc., frío, y dilúyase hasta 1.000 ml. Estandarícese esta solución a diario frente a una solución patrón $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$.

- Sulfato mercúrico, en cristales o polvo

- Acido sulfámico, necesario sólo si debe eliminarse la interferencia de los nitritos.

- Ftalato de hidrógeno de potasio patrón: tritúrese ligeramente y luego séquese el ftalato de hidrógeno de potasio a paso constante a 120 °C. Disuélvase 425 mg en agua destilada y dilúyase hasta 1.000 ml. El FHP tiene un ROQ teórico de 1,176 mg oxígeno/mg y esta solución tiene un ROQ teórico de 500@g oxígeno estable hasta tres meses cuando se congela en ausencia de crecimiento biológico visible.

d) Procedimiento

1.- Para muestras con DQO > 50 mg/l.

Introdúzcanse 50 ml de muestra en un matraz de reflujo de 500 ml. Añádase 1 g de HgSO_4 , varias cuentras de cristal y, muy despacio 5 ml de reactivo ácido sulfúrico, mezclando para disolver el HgSO_4 . Enfriese mientras se mezcla para evitar l posible pérdida de materiales volátiles. Añádanse 25 ml de solución de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 0,0417 M y mézclese. Sujetar al refrigerante y hágase girar en agua fría. Añádase el reactivo ácido sulfúrico restante a través del extremo abierto de refrigerante. Continúese agitando y mezclando mientras se añade el ácido sulfúrico. Cúbrase el extremo abierto de refrigerante con una pequeña cubeta para evitar la entrada de material extraño a la mezcla de reflujo y sométase a reflujo durante dos horas. Enfriese y lávese el condensador con agua destilada. Desconéctese el condensador de reflujo y dilúyase la mecla hasta aproximadamente el doble de su volumen con agua destilada. Enfriese a temperatura ambiente y determínese el exceso de dicromato con SAF, utilizando 0,10 a 0,15 ml de indicador ferroína. Aunque la cantidad de este indicador no es crítica, utilícese el mismo volumen para todas las titulaciones. Tómese como punto final de la titulación el primer

cambio de color manifiesto desde el azul verdoso al marrón rojizo. El azul verdoso puede volver a aparecer. De la misma forma, sométase a reflujo y titúlese un blanco que contenga los reactivos y un volumen de agua destilada igual que la muestra.

2.- Para muestras con DQO baja

Sígase el procedimiento descrito con dos excepciones:

- empléese dicromato de potasio 0,0417 patrón

- y titúlese con SAF 0,025 M.

e) Cálculo

$$DQO \text{ (mg/l)} = \frac{(A-B) \times M \times 8.000}{\text{ml de muestra}}$$

donde:

A, ml de SAF utilizados para el blanco

B, ml de SAF utilizados para la muestra, y

M, molaridad del SAF.

f) Precisión y sesgo

En 74 laboratorios se ensayó un serie de muestras sintéticas que contenían ftalito de hidrógeno y potasio y NaCl. En una DQO de 200 mg/l, en ausencia de cloruro, la

desviación estándar fue de +/- 13 mg/l. En una DQO de 160 mg/l y 100 mg de Cl⁻ la desviación estándar fue de +/- 14 mg/l.

En el mercado existen ya reactivos que simplifican de forma apreciable este proceso, consiguiendo resultados de alta precisión por lo que se ha optado por este segundo método.

5.4.4.- Determinación del pH

Se utilizará un pH-metro estándar de tipo electrodo. Medir in situ o bien inmediatamente tomada la muestra.

5.5.- EQUIPOS UTILIZADOS PARA LA ANALITICA

En el laboratorio donde se ha realizado la analítica, el de la Depuradora Sur, el equipo utilizado para ello ha sido:

- Espectrofotómetro.
- Medidor de pH.
- Horno Mufla. Temperatura hasta 1.000 °C. Regulación automática de la temperatura
- Estufa con refrigeración para DBO₅, incluye termostatos de regulación.
- Aparato para la determinación de DBO₅, con compensación automática de temperatura.
- Equipo de filtración sobre membranas, compuesto de dos matraces. Dos portafiltros

completos para filtros de 47 mm de diámetro. Alamo, o similar.

- Bomba de vacío. Potencia 1/3 CV, caudal de 4,4 m³/h.
- Digestor la determinación de DQO.
- Estufa desecación y esterilización (hasta 200 °C).
- Balanza analítica 125 gr. y precisión 0,1 mg.
- Destilador de agua con funcionamiento automático y dispositivo de seguridad.
- Otros materiales de vidrio y material complementario.

6.- DESCRIPCION DE LAS PLANTAS PILOTO

6.- DESCRIPCION DE LAS PLANTAS PILOTO

En este capítulo se hace una descripción de las plantas piloto que se utilizarán en la investigación, así como de la ubicación de las mismas, equipos y obras necesarias para su puesta a punto.

6.1.- UBICACION DE LAS PLANTAS PILOTO

6.1.1.- Introducción

En Granada existen dos cuencas en las que se vierte el agua residual de la ciudad: la Oeste y la Sur-Centro. En ambas existe una amplia red secundaria (más de 400 km. en diversas secciones y diámetros) que se va ampliando continuamente, atendiendo a la nueva demanda de la ciudad.

. El sistema **Oeste** recoge el agua de aproximadamente 90.000 habitantes de las

zonas Norte y Oeste de la ciudad; está formado por cuatro colectores que finalizan en la **EDAR Oeste-Los Vados**.

. El sistema **Sur-Centro** recoge y canaliza las aguas residuales de 185.000 habitantes. Tiene dos ejes de colectores que finalizan ambos en la **Depuradora Sur-Churriana**, lugar donde se desarrolla la investigación, por lo que a partir de este momento nos referiremos únicamente a esta depuradora. Uno de ellos es el que recoge las aguas residuales del centro de la ciudad, el otro eje colector drena el casco urbano del Sureste.

La Depuradora Sur es un elemento más del Plan de Saneamiento Integral de Granada, que se gestó en 1972 cuando la Dirección General de Obras Hidráulicas redacta el Expediente Inicial de Mejora de Saneamiento de la ciudad de Granada.

En 1982 se estableció el Plan de Actuación Coordinado entre la Empresa Municipal de Aguas de Granada, EMASAGRA, y la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir para la ampliación y mejora de la infraestructura sanitaria de la ciudad.

En 1985 se firma un convenio entre la Consejería de Obras Públicas de la Junta de Andalucía y el Ayuntamiento de Granada para la ejecución de las obras. Las obras de la EDAR empezaron en Julio de 1987, con recepción provisional de las mismas en 1991.

6.1.2.- Descripción Depuradora Sur-Churriana

La Depuradora Sur-Churriana está ubicada en el Camino de Purchil, en la Vega Granadina de la margen derecha del río Genil. La instalación actual recoge el agua residual producida por 185.000 habitantes, pudiendo llegar hasta 225.000 habitantes equivalentes en el futuro. Actualmente, el caudal diario que recoge es de 50.000 m³; con un caudal punta de 0,906 m³/sg; concentración de DBO₅ 271gr/m³ y concentración de SS 325 gr/m³.

Se pueden distinguir tres líneas:

- Línea de Agua: Predesbaste o Pozo de Gruesos, Desbaste, Tratamiento Primario, Tratamiento Biológico y Cloración.

- Línea de Fangos: Espesamiento, Calentamiento, Digestión Anaerobia y Deshidratación mecánica.

- Línea de Gas: Producción, Almacenamiento, Agitación por Compresión, Calderas y Antorcha.

1.- Línea de agua

En la entrada de la planta existe un by-pass, con compuertas motorizadas que permite aislar la planta totalmente vertiendo el agua bruta directamente al río.

A continuación se dispone de un pozo de gruesos y reja de predesbaste donde se recogen los elementos más voluminosos y las partículas de arena de mayor diámetro, que serán retiradas con una cuchara bivalva.

El bombeo de entrada dispone de cuatro tornillos de Arquímedes de 1.087 m³/h de caudal unitario y que eleva el agua a la zona de desbaste. Este consta de cuatro rejillas, dos de gruesos (50 mm) y dos de finos (15 mm), además de dos cintas transportadoras. También se dispone de una prensa compactadora de residuos.

El agua pasa a continuación a los desarenadores-desengrasadores (2 x 20 x 5 m) donde son eliminadas las partículas de arena de un diámetro superior a 0,2 mm. Para ello se introduce aire mediante tres soplantes, de forma que la arena se recoge en el fondo gracias a dos bombas especiales (una por canal), mientras las grasas y flotantes son extraídos mediante bombas trituradoras hasta un separador de paletas que vierte a un contenedor, para su posterior traslado y depósito a vertedero. A su salida existe un Canal Parshall, de 3' de ancho de garganta.

A continuación el agua pasa hasta tres decantadores primarios, de 28 m de diámetro, y un calado de 3 m, cada uno.

El agua ya decantada pasa a tres balsas de aireación de 12,6 x 46 x 5 m. La aireación se realiza con domodifusores por medio de cuatro turbocompresores de 4.700

Nm³/h.

A la salida del reactor biológico, el agua pasa hasta los tres decantadores secundarios de 36 m de diámetro y 3,5 m de calado.

2.- Línea de fangos

El fango depositado en los decantadores secundarios es recirculado hasta las balsas por cuatro bombas de tornillo de Arquímedes de 1.087 m³/h cada una.

El fango biológico en exceso se envía mediante dos bombas de 50 m³/h cada una, al espesador de flotación (7 m de diámetro y 2 m de altura).

El fango primario es bombeado mediante cuatro grupos de 40 m³/h hasta el espesador por gravedad previo paso por un tamiz rotativo de 3 mm de luz de malla. El espesador de gravedad tiene 13 m de diámetro y un calado de 3,6 m con la posibilidad de elevación de las rasquetas. Ambos fangos espesados se mezclan en una cámara de 4,5 x 4,5 x 4,5 m. La mezcla es bombeada a digestión mediante dos grupos de 24 m³/h.

La estabilización anaerobia se realiza en dos digestores de 20 m de diámetro y 10 m de altura, con un volumen total de 6.283 m³ y un tiempo de retención de 20 días.

La agitación se hace mediante lanzas de gas y el calentamiento del fango por

medio de intercambios de calor. El agua se calienta en dos calderas de 600.000 kcal/h. Como última fase de la digestión el fango pasa a un digestor secundario de 17 m de diámetro y 8,5 m de altura con un tiempo de retención de nueve días.

Para el secado mecánico se usan tres filtros banda de 1,5 m de anchura con caudal de 11 m³/h. Su alimentación se hace con cuatro bombas de tornillo helicoidal de caudal variable.

3.- Línea de gas

El biogas producido se almacena a baja presión (200 m.c.a) en un gasómetro de 1.200 m³. El resto se quema en una antorcha de funcionamiento automático de 265 m³/h.

Esta planta ha sido diseñada para un caudal medio de 0,593 m³/sg. y uno punta de 0,906 m³/sg, con los siguientes valores de entrada:

Tabla nº 6.1.- Valores de entrada de diseño de la EDAR Sur

	ENTRADA	SALIDA
DBO ₅ (mg/l)	271	30
SS (mg/l)	325	40

También se ha comprobado en diferentes estudios realizados en los emisarios Generales y Monachil, que abastecen a la EDAR, que la contaminación afluyente no sobrepasa los valores considerados para una contaminación típicamente urbana.

6.1.3.- Datos de funcionamiento

Se van a analizar los datos de funcionamiento de esta depuradora en el período Abril 1993-Diciembre 1993.

En este período se trataron 5.894.056 m³ de agua, equivalentes a 656.895 m³/mes, 21.538 m³/día y 249,3 l/segundo. Los meses de mayor caudal fueron Octubre y Noviembre, coincidiendo con la apertura del curso escolar. Los caudales más bajos se dieron en los meses de verano.

En las tablas 6.2 y 6.3. se adjuntan los valores de DBO y SS a lo largo de año, tanto de entrada como de salida. Todos estos, salvo vertidos puntuales, están dentro de los esperados.

Tabla n° 6.2.- Caudales tratados (m³) en la EDAR Sur

	Caudal tratado (m ³ /día)	Caudal máximo (m ³ /día)	Caudal mínimo (m ³ /día)	Caudal medio (m ³ /día)
Abril	635.500	26.283	12.087	21.183
Mayo	566.790	27.082	14.151	18.283
Junio	576.991	25.852	15.066	19.233
Julio	653.863	24.998	16.536	21.092
Agosto	635.188	23.421	17.199	20.490
Septiembre	655.837	24.663	18.315	21.861
Octubre	746.132	27.534	17.261	24.069
Noviembre	799.046	42.050	18.179	26.635
Diciembre	624.709	25.127	15.290	20.152
Caudal total	5.894.056			
Caudal medio	654.895	27.446	16.009	21.444

Tabla n° 6.3.- Valores máximos, mínimos y medios de DBO₅ (mg/l) en EDAR Sur

	ENTRADA			DECANTACION PRIMARIA			SALIDA		
	Abril	570	167	328	250	130	195	90	15
Mayo	450	200	317	250	112	194	85	13	28
Junio	380	248	288	220	100	164	75	5	27
Julio	280	120	184	180	50	108	60	5	17
Agosto	260	75	171	120	30	78	63	5	19
Septiembre	310	140	200	120	80	99	50	10	26
Octubre	310	140	240	250	105	178	45	10	30
Noviembre	310	200	269	230	120	194	100	5	41
Diciembre	420	215	294	280	130	205	110	5	37
MEDIA	225			157			31		

Rendimiento medio de la decantación primaria 38,8 %. Rendimiento medio total 88,6%

Tabla n° 6.4.- Valores máximos, mínimos y medios de SS (mg/l) en EDAR Sur

	ENTRADA			DECANTACION PRIMARIA			SALIDA		
Abril	588	133	291	172	76	105	82	18	41
Mayo	368	138	245	121	57	87	48	9	23
Junio	248	136	214	78	61	70	46	8	22
Julio	208	146	174	72	38	49	40	4	14
Agosto	267	86	163	55	21	37	41	5	23
Septiembre	230	144	174	102	36	63	54	5	26
Octubre	252	136	182	152	64	91	40	10	26
Noviembre	240	134	199	140	26	95	80	8	31
Diciembre	308	140	217	148	72	104	70	10	31
MEDIA	215			77			26		

Rendimiento medio de la decantación primaria 59,9%. Rendimiento medio total 87,4 %

Tabla nº 6.5.- Residuos extraídos. EDAR Sur

	GRUESOS	FINOS	TAMIZ	ARENAS	GRASAS
Abril	6	6	6	12	-
Mayo	6	-	6	12	-
Junio	6	6	6	-	-
Julio	6	6	6	6	6
Agosto	-	-	-	-	-
Septiembre	6	-	6	6	-
Octubre	6	-	-	6	-
Noviembre	12	6	18	18	-
Diciembre	-	6	6	6	-
TOTAL	48	30	48	66	6

Tabla nº 6.6.- Rendimiento tratamiento primario. Valores máximos, mínimos y medios (%). EDAR Sur.

	DBO ₅			DQO			SS		
Abril	58	16	35	54	9	32	75	10	59
Mayo	59	17	39	58	13	34	85	37	61
Junio	60	12	42	47	19	36	73	44	63
Julio	78	21	47	60	18	41	82	58	71
Agosto	86	33	56	63	22	50	88	47	76
Septiembre	69	14	49	59	3	23	78	42	62
Octubre	57	9	28	45	12	24	64	19	48
Noviembre	60	8	27	74	19	32	73	31	50
Diciembre	55	12	27	57	16	30	63	31	49
MEDIA	38,8			33,6			59,9		

Tabla nº 6.7.- Rendimientos totales. Valores máximos, mínimos y medios (%).

EDAR Sur

	DBO ₅			DQO			SS		
Abril	96	63	82	83	57	72	94	67	84
Mayo	96	81	91	90	67	80	97	80	89
Junio	99	76	91	97	76	84	97	80	90
Julio	97	61	90	87	60	79	98	75	92
Agosto	98	61	87	94	77	86	97	73	90
Septiembre	94	81	87	90	67	81	97	71	85
Octubre	95	61	80	87	58	80	96	68	86
Noviembre	96	63	84	95	57	81	96	61	84
Diciembre	94	58	88	86	64	81	94	73	86
MEDIA	86,6			80,4			87,4		

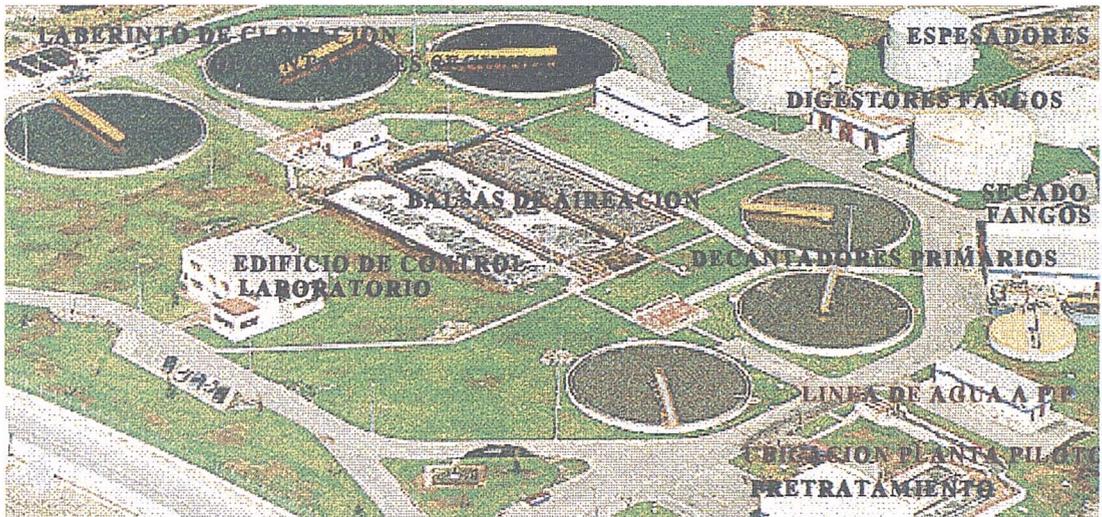
Tabla n° 6.8.- Parámetros de proceso en los reactores biológicos. EDAR Sur

	SSLM	SSR	O ₂	CM	CV	V ₃₀
Abril	3156	4484	2	0,44	1,39	882
Mayo	2000	2500	2	0,62	1,24	980
Junio	1929	2645	2	0,55	1,07	980
Julio	1572	2868	1,5	0,51	0,8	986
Agosto	1047	2213	1,6	0,53	0,56	299
Septiembre	1250	2600	2	0,59	0,73	290
Octubre	1608	3457	2,4	0,93	1,5	915
Noviembre	1150	3430	2	1,52	1,75	564
Diciembre	1600	2600	2	0,9	1,45	895
MEDIA	1700	2977	1,9	0,73	1,17	755

Tabla n° 6.9.- Espesamiento. EDAR Sur

	ENTRADA		SALIDA		FLOTADOR	
	%	MV	%	MV	%	MV
Abril	1,6	79	4,1	75	-	-
Mayo	1,9	63	3,4	65	-	-
Junio	0,7	75	3,1	77	-	-
Julio	0,7	70	2,9	72	2,9	83
Agosto	0,7	67	3,1	72	2,2	83
Septiembre	0,7	67	3,9	75	2,6	82
Octubre	0,8	72	6,2	73	2,0	84
Noviembre	1,4	73	5,3	72	2,2	85
Diciembre	1,2	72	5,7	72	2,2	83
MEDIA	1,1	71	4,2	73	2,4	83

Figura n° 6.1.- Depuradora Sur



6.1.4.- Ubicación de las plantas piloto

La planta piloto semitécnica se ubica en el edificio del pretratamiento de la Depuradora Sur-Churriana. Para la alimentación de agua de proceso, procedente de la salida de la decantación primaria se ha dispuesto una línea, que por gravedad va desde el decantador primario hasta el edificio indicado, desde donde es bombeada hasta la planta piloto. En el apartado correspondiente se hará una descripción mas exhaustiva de la planta piloto, así como del sistema de alimentación y equipos utilizados.

La planta piloto a escala de laboratorio se ubica en el laboratorio de la Depuradora Sur-Churriana, siendo necesario para ello disponer de un sencillo sistema formado por un pequeño depósito que se rellena manualmente de agua procedente de la decantación secundaria, seguido del reactor a pequeña escala y que estará alimentado por un pequeño compresor. En el apartado correspondiente se hará una descripción algo más exhaustiva de esta planta piloto a escala de laboratorio.

6.2.- PLANTA PILOTO A ESCALA DE LABORATORIO

Con la finalidad de hacer un primer estudio de los rellenos se ha construido una planta piloto a escala de laboratorio con el mismo esquema de funcionamiento que la planta piloto semitécnica de la que se dispone, aunque sin ningún tipo de automatismo y con gran simplicidad de funcionamiento. Para ello se encargaron unas probetas de cristal que harán el papel de reactor biológico y que a continuación se definen.

6.2.1.- Partes de la planta piloto de laboratorio

El reactor biológico de la planta piloto a escala de laboratorio es un tubo de cristal donde se introduce el material filtrante y que tiene las siguientes características:

- Diámetro 6 cm.

- Seis puntos de entrada/salida dispuestos a lo largo del reactor para obtener muestras a distinta altura, así como para estudiar distintas posibilidades de entrada de aire o bien de salida de agua depurada, en caso de que sea necesario.

- Altura del reactor 60 cm.

Como se ha indicado esta planta piloto se ha colocado en el laboratorio de la Depuradora Sur de Churriana, disponiendo un sistema, que si bien no alcanza un alto grado de tecnicismo, permitió que esta trabajase por gravedad y obtener de esta forma unas conclusiones previas en la investigación de choque.

Como partes fundamentales de esta planta piloto a escala de laboratorio distinguiremos:

- *Alimentación de agua bruta superior*. Para ello se dispone de un deposito que colocado sobre el nivel de la planta piloto para que permita la entrada de agua

por la parte superior de la planta piloto por gravedad sin necesidad de bombeos.

- **Alimentación de aire.** Dada la pequeña escala de la planta piloto se ha dispuesto para el suministro de aire de proceso un compresor de los utilizados en los acuarios domésticos, con un caudal máximo de aire de 5 l/h. Para conseguir modificaciones en el caudal de aire se utilizó una pequeña llave reguladora, aunque la simplicidad del compresor impidió la medida del caudal de aire, sino sólo una pequeña estimación del mismo. La entrada de aire de proceso se realiza por la parte inferior del lecho dejando 2 cm en estado anaerobio, siguiendo la patente francesa.

- **Salida del agua depurada.** En la parte inferior de filtro se recoge el agua filtrada que sale por gravedad hasta un desagüe hasta la red de alcantarillado de la propia depuradora.

6.2.2.- Funcionamiento de la planta piloto de laboratorio

La planta piloto a escala de laboratorio funciona físicamente por gravedad. El agua de proceso se incorpora al tratamiento por la parte superior de la misma, utilizando para ello agua procedente de la decantación primaria que se introduce manualmente en un pequeño depósito que se dispone sobre el nivel en el que se encuentre la planta piloto y que se renueva dos veces al día. Por la parte inferior del filtro se insufla el aire de proceso, utilizando para ello uno de los dispositivos de entrada de los que dispone la

planta piloto, creando de esta forma unas condiciones aerobias que se precisan para que pueda desarrollarse la comunidad ecológica del filtro responsable de la depuración.

El caudal del agua que se va filtrando, va disminuyendo según se va colmatando el filtro por lo que se produce una elevación de la lámina de agua sobre el filtro. Como se trata de un sistema simplificado que permite hacer unas sencillas pruebas iniciales del sistema y de los rellenos, no se dispone de mecanismo de lavado como tal, por lo que deberá hacerse manualmente cuando sea necesario. Esto se consigue incrementando el caudal de aire al máximo, y procediendo a la eliminación de la biopelícula muerta que se acumula en la parte superior mediante sifonamiento manual. La regulación del aire se consigue utilizando la llave indicada.

6.3.- DESCRIPCION DE LA PLANTA PILOTO SEMITECNICA

6.3.1.- Partes de la planta piloto

La planta piloto que se utilizará para esta investigación está formada por un filtro vertical de metacrilato transparente, de 30 cm. de diámetro, que hace la función de reactor biológico y donde se introduce el material filtrante.

Como partes fundamentales de la planta piloto distinguiremos:

- Alimentación de agua de proceso superior.

Mediante una bomba el agua de la decantación primaria de la EDAR es elevada a la parte superior del tubo de metacrilato a través de una tubería de PVC que dispone de un caudalímetro. La regulación se realiza manualmente, calibrando siempre el caudal en función de las lecturas que se obtienen en el caudalímetro.

- Alimentación de aire.

Mediante un compresor se suministra tanto el aire de proceso como el de lavado regulado mediante electroválvulas que disponen de caudalímetro de precisión. El compresor dispone de una llave que permite regular el caudal de aire que se necesite en cada momento, utilizando el caudalímetro de precisión para conocer el caudal que se está introduciendo.

- Sensores.

Mediante tubos, conectados por válvulas de bola al tubo soporte del filtro se puede conocer la pérdida de carga en las diferentes alturas del materia filtrante, a través de unos tubos piezométricos; así mismo la lámina libre del agua sobre el filtro es captada mediante cuatro sensores que activan las electroválvulas de lavado.

- Salida de agua de lavado.

En la parte superior del tubo soporte del filtro existe una alcachofa origen de un sifón a través del cual se elimina el agua de lavado.

- Salida del agua depurada.

En la parte baja de filtro se recoge el agua filtrada y sube conducida hasta la altura de la superficie del filtro desde donde por gravedad es conducida a la cuba de almacenaje.

- Agua de lavado.

De la cuba de almacenaje del agua depurada, mediante una bomba sumergida y pasando a través de una electroválvula con caudalímetro de precisión, se eleva el agua que entra por la parte inferior del filtro para realizar los lavados.

6.3.2.- Funcionamiento de la planta piloto

La planta piloto funciona físicamente por gravedad. El agua bruta se incorpora al tratamiento por la parte superior el tubo. Por la parte inferior del filtro se insufla aire de proceso mediante difusores, creando de esta forma unas condiciones aerobias que se precisan para que pueda desarrollarse la comunidad ecológica del filtro responsable de la depuración.

La parrilla de distribución de aire de proceso se encuentra a unos 30 cm del fondo del lecho, por lo que deja esta parte del filtro en condiciones anaerobias, siguiendo la patente del sistema de OTV, no obstante se puede también elegir la opción de utilizar el aire de proceso desde el fondo del lecho, utilizando para ello el mismo dispositivo que existe para el aire de lavado.

Poco a poco se va produciendo una colmatación del filtro, por lo que al tener una alimentación constante y una menor filtración se produce una elevación de la lámina de agua sobre el filtro que va aumentando según transcurre el tiempo hasta que llega al sensor que actuará el lavado del filtro.

El proceso de lavado del filtro es el siguiente:

- 1.- Un sensor capta la elevación de la lámina de agua e inmediatamente cierra la salida del agua depurada y la entrada de aire de proceso.
- 2.- Se inicia una fase de desgasificación de tiempo regulable para permitir que salga el aire del filtro.
- 3.- Se introduce aire de lavado, regulable tanto en tiempo como en caudal, permitiendo una esponjamiento del material de relleno y por tanto una descolmatación del mismo, separando el material.

4.- Terminada la aireación del filtro se introduce agua y aire de lavado con caudal también regulable, hasta que se alcanza la altura del captador o sensor nº 1, consiguiendo separar parte de la biopelícula del soporte; este proceso es sumamente delicado ya que un exceso o defecto pueden producir respectivamente, una tardanza de puesta en marcha y de los rendimientos adecuados o una colmatación rápida.

5.- El sensor detiene la entrada de agua+aire y se inicia la segunda desgasificación regulada en tiempo.

6.- Terminada la desgasificación se vuelve a introducir agua de lavado hasta que sifone el conducto de limpieza, quedando después del sifonado el agua a la altura de la alcachofa de entrada al sifón, y se detecta en otro sensor que actúa sobre el contador de lavado y se vuelve a iniciar el siguiente lavado empezando otra vez la desgasificación. Es en esta fase en la que se produce el arrastre de los lodos (la biopelícula desprendida es de esta forma eliminada)

Los ciclos de lavado se pueden regular.

Cuando el sensor indicado antes ha detectado la realización del número de lavados del ciclo, detiene la operación abriendo de nuevo la salida de agua filtrada y el aire de proceso.

Todo este proceso de lavado puede realizarse también de forma manual, siguiendo los mismos pasos y regulando tanto el tiempo, nº de ciclos como los caudales de agua y aire de lavado.

6.3.3.- Descripción de los equipos de la planta piloto

6.3.3.1.- Electroválvulas

EV 4 salida agua filtrada y tratada

(normalmente abierta)

EV 5 alimentación del aire de proceso

(normalmente abierta)

EV 6 aire de lavado

(abierta durante el lavado)

EV 7 agua de lavado

(no utilizado, únicamente en caso de un caudal menos importante)

EV 8 agua de lavado

(normalmente cerrada durante la filtración)

EV11 purga de agua del falso fondo

. se abre durante la inyección del aire de lavado, para eliminar el agua presenta en el aire durante un tiempo elegido.

6.3.3.2.- Captadores

D 1 arranque de lavado

. medición de pérdida de carga alta

D 2 nivel bajo

. arranque del ciclo siguiente

D 3 paro el lavado

. cuenta del nº de ciclos total de lavados

D 4 nivel alto

. paro la fase aire y agua

6.3.3.3.- Secuencias

M 1 desgasificación

M 2 aire de lavado

M 3 desgasificación lavado del falso fondo

M 4 agua sola

M 5 purga del agua del falso fondo

M 10 purga del aire del falso fondo

M 11 recirculación agua de lavado, no utilizada en este caso

M 12 seguridad del lavado

unido con enlace eléctrico a una señal luminosa

6.3.3.4.- Otros equipos

Los equipos de la planta piloto se completan con:

- bomba de lavado, sumergida

- bombas de entrada de agua de proceso, con regulación de caudales hasta 200

l/h y 54 l/h.

- compresor que proporciona el aire de proceso y de lavado

- cuba para recogida del agua depurada que a su vez se utiliza para los lavados con un volumen de 0,55 m³.

Figura n° 6.2.- Esquema planta piloto a escala de laboratorio

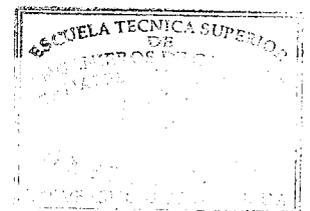
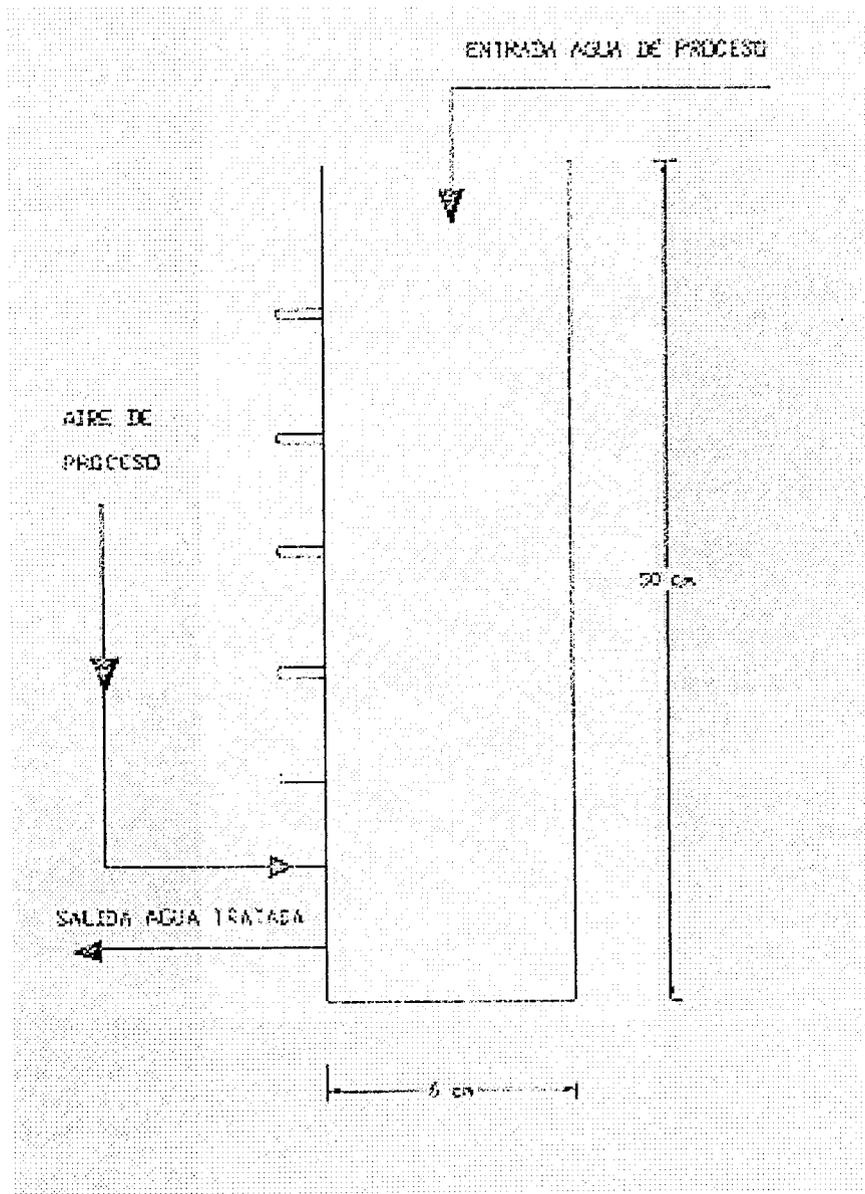
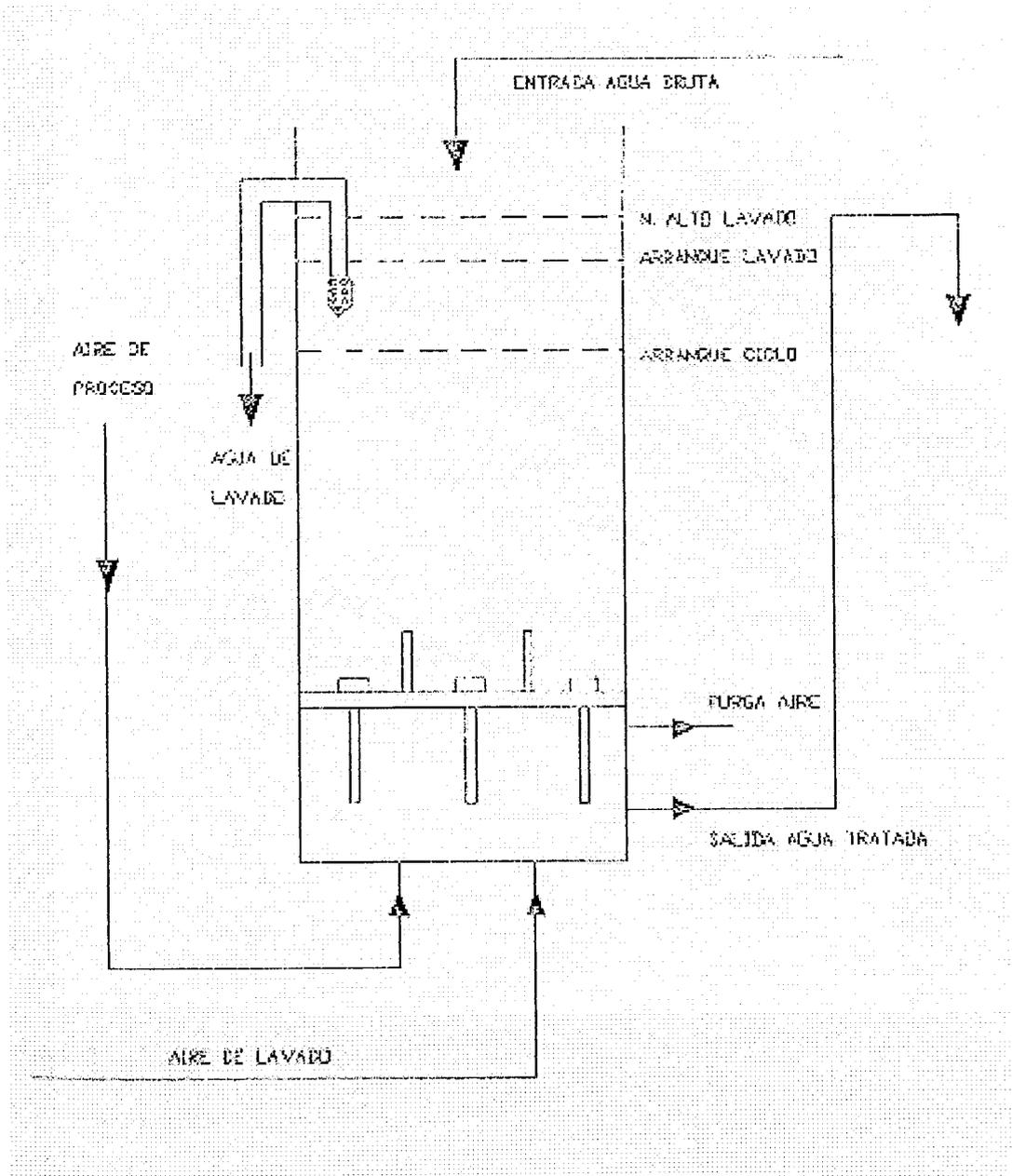


Figura nº 6.3.- Esquema planta piloto semitécnica



7.- INVESTIGACION DE CHOQUE

7.- INVESTIGACION DE CHOQUE

7.1.- INTRODUCCION

En esta primera fase de la investigación se utilizó la planta piloto a escala de laboratorio, diseñada para que funcione de forma análoga a la semitécnica; simultáneamente se llevó a cabo la puesta a punto de la planta piloto semitécnica, que con el traslado de su anterior ubicación sufrió importantes desperfectos y fueron necesarias una serie de reparaciones previas a su puesta en marcha.

La finalidad de esta primera etapa se centró en los siguientes aspectos:

- 1.- Comprobación funcional del sistema
- 2.- Comprobación de la degradabilidad de los materiales
- 3.- Comprobar las relevancias de objetivos, variables y parámetros que se han

introducido.

4.- Obtener unos rendimientos previos que den una orientación sobre las capacidades depuradoras con estos soportes.

Todo esto permitió fijar una metodología de trabajo posterior, para la investigación de fondo.

7.2.- RELLENOS ESTUDIADOS

En esta etapa de trabajo se estudiaron los siguientes rellenos:

1.- *Sepiolita.*

2.- *Relleno plástico.*

3.- *Relleno cerámico.*

En el Anejo nº 6: *Reportaje fotográfico*, aparecen fotografías de los distintos rellenos, así como de la planta piloto de laboratorio.

7.2.1.- Sepiolita. Características

Es un hidrosilicato de magnesio de color blanco amarillento y aspecto arcilloso, semejante al relleno Biofor. Sus características se resumen en:

- *Dureza de 2 a 2,5.*

- *Cristaliza en el sistema monoclinico.*
- *Densidad 1,2.*
- *Tamaño uniforme de granulometría unos 5 mm.*
- *Formas irregulares.*

La utilización de la sepiolita como soporte de los filtros biológicos inundados se basó en la búsqueda de algún material arcilloso, tipo *Biolite* por ejemplo, que fuese capaz de resistir tanto el ataque de las aguas residuales como el efecto mecánico de los lavados y permitiera un desarrollo de biopelícula para conseguir un proceso depurador de las aguas residuales a su paso por el lecho y con una densidad que se encontrase en los límites obtenidos en el barrido realizado.

Para conseguir mayor dureza se sometió a un tratamiento térmico. En una primera fase fue calentando durante 40 minutos a una temperatura de 200 °C, antes de ponerlo en contacto con el agua residual. En otra segunda fase se hizo otro tratamiento térmico a 700 °C durante 10 minutos. De esta forma se podrían determinar ahorros energéticos, además de una mayor resistencia.

7.2.2.- Relleno plástico. Características

El relleno plástico son unas partículas de polietileno con una forma que las asemeja a unas lentejas; procede del reciclado de plásticos de invernadero ofrecido por la *Empresa de Gestión Medioambiental EGMASA*; esta empresa tiene dos fábricas de

reciclado de plásticos, una en *Los Palacios (Sevilla)* y otra en *El Ejido (Almería)*. Las muestras que se comenzaron a estudiar proceden de la fábrica de Los Palacios dada su mejor calidad.

Las características de esas *lentejas de polietileno* se resumen en:

- *densidad 0,9*
- *espesor 1 mm*
- *diámetro 5 mm*
- *tamaño uniforme en todas las partículas.*

7.2.3.- Relleno cerámico. Características

Teniendo en cuenta uno de los criterios de selección del relleno: *materiales* reciclados, se decidió estudiar un relleno procedente del machaqueo del reciclado de una industria cerámica, en concreto de una fábrica de material de construcción de tipo cerámico en Jun (Granada), *Cerámicas Siles*.

Las características de este relleno son las siguientes:

- *densidad seca 2,3*
- *tamaño uniforme*
- *granulometría de 5 a 7 mm*; se buscó una granulometría que fuese aproximada

a otros rellenos ya patentados.

- estructura porosa
- densidad saturada 2,7

7.3.- METODOLOGIA PARA LA TOMA DE DATOS

7.3.1.- Muestras depuradas utilizando la sepiolita como soporte

Se tomaron muestras tanto del agua de proceso de entrada al filtro como de la salida directa del filtro, sin decantar. A estas muestras se les hizo la analítica de los parámetros indicados, así como una observación microscópica de la biopelícula.

Para realizar la toma de muestras se seguirán las siguientes pautas:

- Toma manual de muestras
- Muestras integradas de tres muestreos diarios a las 8, 16 y 21 horas.

7.3.2.- Muestras depuradas utilizando el plástico como soporte

Se comenzó tomando las muestras directamente a la salida del filtro biológico con muestras integradas. Los resultados obtenidos obligaron a disponer una decantación secundaria y a una toma de muestras de agua ya decantada.

Tanto en una como en otra etapa se realizó a las muestras de entrada y salida a la planta piloto la analítica para determinar los parámetros establecidos así como una

observación microscópica de la biopelícula.

Las pautas seguidas para la toma de muestras fueron:

- Toma de muestras manual
- Muestras integradas, procedentes de tres muestreos a las 8, 16 y 21 horas.

7.3.3.- Muestras depuradas utilizando el relleno cerámico como soporte

Se comenzó tomando las muestras directamente a la salida del filtro biológico con muestras integradas. Los resultados obtenidos indicaron que tal y como ocurre en otros casos en los que se deja la parte inferior del lecho sin aireación (según la bibliografía consultada), no se necesita decantación secundaria, por lo que la toma de muestras se realizó a la salida del filtro.

Se realizó a las muestras de entrada y salida a la planta piloto la analítica para determinar los parámetros establecidos así como una observación microscópica de la biopelícula.

Las pautas seguidas para la toma de muestras fueron:

- Toma de muestras manual
- Muestras integradas, procedentes de tres muestreos a las 8, 16 y 21 horas.

7.4.- ANALITICA DE LAS MUESTRAS

Las muestras tomadas diariamente se analizaron en las siguientes dependencias:

- Analítica rutinaria (pH, DBO₅, DQO y SS) en el **Laboratorio de la Depuradora Sur.**

- Observaciones microscópicas en el **Laboratorio de la Depuradora Oeste Los Vados.**

7.5.- PUESTA EN MARCHA

Los rellenos se reciben al final del año 1993, en concreto el relleno plástico el 15 de Noviembre, la sepiolita el 23 de Noviembre y por último el relleno cerámico el 20 de Diciembre de 1993.

7.5.1.- Sepiolita

En el mes de Enero de 1994 se procede a la puesta en marcha de la planta piloto de laboratorio con la finalidad de hacer unos estudios previos con este relleno. La puesta en marcha se realiza el 1 de Enero de 1994.

Para ello fue necesario el montaje de un sistema formado por:

- Depósito de cinco litros para el agua de alimentación superior de la columna experimental procedente de la decantación primaria. Se renovaba tres veces al día, a la vez que se realizaba la toma de muestras.

- Columna experimental, con un volumen de relleno de sepiolita de $1'41 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ (altura de la columna de relleno 50 cm). El relleno se sometió a un tratamiento térmico, como se ha indicado en el apartado correspondiente a las características de la sepiolita.

- Alimentación de aire por la parte inferior de la columna, dejando unos cinco centímetros de lecho en estado anaerobio, siguiendo la patente de OTV.

- Depósito para la recogida del agua depurada.

Para realizar los lavados, dada la simplicidad del sistema, sólo se podía hacer mediante incrementos del caudal de aire.

7.5.2.- Relleno plástico

En el mes de Febrero se extrajo la sepiolita y se pasó al relleno plástico. El día 1 de Febrero de 1994 se procede al llenado del reactor biológico con las lentejas de polietileno.

El dispositivo que se utilizó fue el mismo que el utilizado para la sepiolita, aunque debido a la flotabilidad de las lentejas el volumen de relleno que se introdujo fue menor (altura de relleno 40 cm).

Como consecuencia de esta flotabilidad se podían distinguir tres zonas bien diferenciadas en el lecho:

- Una *superior*, que se mantenía flotando, con una altura de unos 8 cm.
- Una *intermedia*, que permanecía sumergida, con una altura de lecho de 24 cm.
- Una *inferior*, de unos 8 cm, sólo con agua.

Se trabajó de nuevo con alimentación superior de agua de proceso y como consecuencia de la flotabilidad todo el lecho quedaba aireado; no existía una capa de relleno en estado anaerobio.

7.5.3.- Relleno cerámico

El día 1 de Marzo de 1994 se comenzó a trabajar con el relleno cerámico en la planta piloto de laboratorio.

El sistema utilizado fue el mismo que en los caso anteriores. De nuevo en este

caso se deja una capa bajo la parrilla de aireación en estado anaerobio, siguiendo la patente de OTV.

7.5.4.- Problemas que se presentaron

a) Problemas con los rellenos

En cada una de las fases experimentales, en función del relleno utilizado, se presentaron una serie de problemas originados por las propias características de los mismos, y que serán expuestas en el análisis de resultados y conclusiones previas, ya que hasta el momento no se han expuesto resultados analíticos y por tanto sería anticipar hechos.

b) Problemas mecánicos

1.- Problemas a la hora de hacer los lavados; debido a lo simplificado del sistema no se conseguía una eliminación total de la biopelícula creada, ya que no podía introducirse agua de lavado, por lo que no se conseguía un arrastre de los fangos biológicos. Además la entrada de aire de lavado se realizaba de la misma forma que el de proceso, por lo que no se producía una limpieza de la capa inferior.

2.- Problemas de alimentación de agua de proceso; debido a la pequeña sección de los conductos utilizados se producían incrustaciones y depósitos en los mismos que impedían el correcto y fluido paso del agua; al tratarse de unos caudales de trabajo muy bajos (del orden de 5-20 ml/minuto) su regulación se

hacia muy difícil.

3.- Crecimiento masivo de algas, ya que el laboratorio era una zona muy iluminada. Se tuvo que proceder a envolver todos los conductos, los depósitos y el filtro con bolsas de plástico color negro. Estas algas contribuían también a la obstrucción de los conductos.

7.5.5.- Puesta a punto de la planta piloto semitécnica

En el mes de Noviembre de 1993 se traslada la planta piloto desde su anterior ubicación en las dependencias de *EMPROACSA, Estación Depuradora de Peñarroya*, hasta la *Depuradora Sur de Aguas Residuales de Granada (EMASAGRA)*, ubicación elegida para llevar a cabo la investigación.

Durante el traslado se producen algunos desperfectos en la planta, que unidos a las deficiencias que ya existían como consecuencia de su utilización anterior, hacen necesaria una fase inicial para su mejora y reparación que hiciesen posible su puesta en marcha.

Simultáneamente a las labores de puesta a punto de la planta piloto semitécnica se opta por comenzar con los estudios a nivel de laboratorio que ya se han descrito.

Las reparaciones y labores de puesta a punto que tuvieron que realizarse en la

planta piloto semitécnica se pueden resumir en los siguientes aspectos:

- Limpieza de todos los tubos, electroválvulas y otros elementos, así como sustitución de aquellos que se encontraron defectuosos.
- Sustitución de la bomba de alimentación que no funcionaba correctamente.
- Sustitución de la bomba de lavado, que inicialmente era una bomba de tipo peristáltico, por una bomba sumergida.
- Colocación de un nuevo compresor para la alimentación de aire, tanto de lavado como de proceso.
- Reparación del tubo de metacrilato que se había deteriorado en el traslado.
- Colocación de un caudalímetro de agua de entrada.
- Instalación de una línea de agua que por gravedad permitiese la alimentación de agua de la planta piloto. Para ello se trazó una línea desde los decantadores primarios hasta el pretratamiento, donde se ubica la planta piloto. Desde aquí y gracias a una bomba de impulsión se hace llegar el agua a la parte superior de la columna de la planta piloto. La toma de agua del decantador primario se hace

desde la parte superior del decantador, saliendo el agua por sifonamiento; en la toma se colocó una válvula antirretorno para evitar que el conducto quedase sin agua.

7.6.- RESULTADOS ANALITICOS

7.6.1.- Sepiolita

Los resultados analíticos obtenidos con este relleno se recogen en las tablas que a continuación se enumeran:

Tabla nº 7.1.- Datos de entrada a la planta piloto

Tabla nº 7.2.- Datos de salida de la planta piloto (sin decantación)

Tabla nº 7.3.- Rendimientos de la planta piloto (sin decantación) y cargas (kg DBO₅/m³.d, kg SS/m³.d y m³/m².d)

Tabla nº 7.4.- Datos de caudales de agua de proceso

Tabla nº 7.5.- Observaciones

Tabla n° 7.1.- Sepiolia. Datos de entrada a la planta piloto

Día	pH	SS (mg/l)	DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)
1	7,4	58	294	110
2	7,3	68	336	150
3	7,2	60	294	120
4	7,3	62	298	125
5	7,7	80	336	140
6	7,8	84	310	130
7	7,5	94	437	179
8	7,5	88	391	150
9	7,4	72	391	150
10	7,4	106	455	170
11	7,4	102	450	180
12	7,5	96	409	175
13	7,5	102	404	166
14	7,6	102	410	168
15				
16	7,6	54	349	110
17	7,7	70	347	170
18	7,6	80	293	120
19	7,6	58	292	120
20	7,7	66	315	129
21	7,7	75	350	172
22	7,7	48	239	130
23	7,6	48	239	90
24	7,8	62	370	120
25	7,6	60	365	160
26	7,7	62	370	162

Tabla n° 7.2.- Sepiolita. Salida planta piloto

Día	pH	SS (mg/l)	DQO (mg/l)	DBO₅ (mg/l)
1	7.8	54	263	105
2	7.6	58	287	120
3	7.8	47	229	90
4	7.7	48	271	105
5	7.7	49	298	120
6	7.8	51	247	100
7	7.6	72	389	160
8	7.8	74	310	125
9	7.8	68	341	140
10	7.7	110	387	160
11	7.5	112	435	175
12	7.6	110	403	170
13	7.7	112	387	160
14	7.7	117	406	165
15				
16	7.8	52	312	95
17	7.6	58	219	105
18	7.5	62	247	100
19	7.7	42	239	95
20	7.6	54	238	90
21	7.6	65	332	150
22	7.6	44	212	115
23	7.7	51	215	80
24	7.8	64	349	115
25	7.8	67	331	155
26	7.8	71	361	160

Tabla n° 7.3.- Sepiolita. Rendimientos de la planta piloto (sin decantación) y cargas (kg DBO/m³.d, kg SS/m³ .d y m³/m².d)

Día	Rendimientos			Cargas		
	DQO	DBO ₅	SS	kg DBO/m ³ .d	kg SS/m ³ .d	m ³ /m ² .d
1	11	5	7	2.24	1.18	0.42
2	15	20	15	3.06	1.39	0.42
3	22	25	22	2.44	1.22	0.42
4	9	16	23	2.55	1.26	0.42
5	11	14	39	2.85	1.63	0.42
6	20	23	39	2.65	1.71	0.42
7	11	11	23	2.20	1.15	0.25
8	21	17	16	1.83	1.08	0.25
9	13	7	6	1.83	0.88	0.25
10	15	6	-4	1.04	0.65	0.13
11	3	3	-10	1.10	0.62	0.13
12	1	3	-15	3.21	1.76	0.38
13	4	3	-10	3.04	1.87	0.38
14	1	2	-15	3.08	1.87	0.38
15						
16	11	14	4	0.67	0.33	0.13
17	37	38	17	1.04	0.43	0.13
18	16	17	23	0.73	0.49	0.13
19	18	21	28	0.73	0.35	0.13
20	24	30	18	0.79	0.40	0.13
21	5	13	13	1.05	0.46	0.32
22	11	12	8	1.99	0.73	0.32
23	10	11	-6	1.38	0.73	0.32
24	6	4	-3	1.83	0.95	0.32
25	9	3	-12	2.44	0.92	0.32
26	2	1	-15	2.48	0.95	0.32

Tabla n° 7.4.-Sepiolita. Datos de caudales de agua de entrada

Día	Caudal de agua (ml/min)
1	20
2	20
3	20
4	20
5	20
6	20
7	12
8	12
9	12
10	6
11	6
12	18
13	18
14	18
15	
16	6
17	6
18	6
19	6
20	6
21	6
22	15
23	15
24	15
25	15
26	15

Tabla nº 7.5.- Sepiolita. Observaciones

Día	
1	Puesta en marcha con sepiolita
2	
3	
4	
5	Comienzan a aparecer restos de sepiolita en el agua depurada
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	Se introduce nueva sepiolita
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	Comienzan a aparecer restos de sepiolita en el agua depurada
23	
24	
25	
26	

Observaciones microscópica

Durante los primeros quince días del mes de Enero se trabajó con un relleno preparado previamente térmicamente, durante 40 minutos a 200 °C. Al pasar este tiempo se observó el deterioro del mismo, apareciendo como una masa arcillosa. Se procedió a calentar durante 10 minutos a 700 °C, y se volvió a trabajar durante otros quince días, encontrando finalmente el mismo resultado que en el caso anterior. La observación microscópica de la biopelícula no proporcionó datos útiles ya que no se apreciaba una colonización adecuada; sólo se pudo observar algunos gusanos y algas.

7.6.2.- Relleno plástico

Las tablas que recogen los resultados analíticos obtenidos en esta fase con el relleno plástico son las siguientes:

Tabla nº 7.6.- Datos de entrada a la planta piloto

Tabla nº 7.7.- Datos de salida de la planta piloto. Con decantación

Tabla nº 7.8.- Rendimientos en DBO₅, DQO y SS, cargas (kg DBO₅/m³.d, kg SS/m³.d, m³/m².d)

Tabla nº 7.9.- Caudales de agua de proceso (ml/minuto)

Tabla nº 7.10.- Observaciones

Tabla n° 7.6.- Relleno plástico. Datos de entrada a la planta piloto

Día	pH	SS (mg/l)	DQO (mg/l)	DBO₅ (mg/l)
1	7.6	98	467	175
2	7.6	112	478	200
3	7.5	122	530	240
4	7.6	108	416	240
5	7.8	146	489	240
6	7.7	152	543	240
7	7.6	82	294	120
8	7.4	58	184	110
9	7.3	68	336	150
10	7.2	60	294	120
11	7.3	62	298	125
12	7.7	80	336	140
13	7.8	84	310	130
14	7.5	94	437	175
15	7.5	88	391	150
16	7.4	72	391	150
17	7.4	106	455	170
18	7.4	102	450	180
19	7.5	96	409	175
20	7.5	102	404	170
21	7.6	102	410	174
22	7.6	98	398	153
23	7.6	54	249	110
24	7.7	70	347	170
25	7.6	80	290	120
26	7.6	58	292	118
27	7.7	66	315	132
28	7.7	75	350	172

Tabla n° 7.7.- Relleno plástico. Datos de salida

Día	pH	SS (mg/l)	DQO (mg/l)	DBO₅ (mg/l)
1	7.7	66	450	135
2	7.7	64	465	140
3	7.6	589	1011	304
4	7.5	700	1080	325
5	7.6	567	825	250
6	7.7	1000	1050	310
7	7.7	1050	1130	339
8	7.2	38	216	60
9	7.1	38	211	64
10	7.5	36	200	60
11	7.4	52	207	35
12	7.7	80	336	101
13	7.3	20	131	20
14	7.4	54	243	75
15	7.6	70	333	100
16	7.5	66	267	85
17	7.7	76	292	90
18	7.5	68	292	92
19	7.6	42	255	80
20	7.9	44	226	65
21	7.7	39	198	57
22	7.6	32	185	56
23	7.4	22	163	50
24	7.9	27	132	40
25	7.7	38	195	60
26	7.6	58	292	88
27	7.5	50	182	80
28	7.6	60	195	60

Tabla nº 7.8.- Relleno plástico. Rendimientos en DBO, DQO y SS, y cargas de DBO, SS e hidráulica (kg DBO₅ /m³.d, kg SS/m³.d, m³/m²)

Día	Rendimientos			Cargas		
	DBO ₅	DQO	SS	kg DBO ₅ /m ³ .d	kg SS/m ³ .d	m ³ /m ² .d
1	23	4	33	2.67	1.50	0.32
2	30	3	43	3.06	1.71	0.32
3	-27	-91	-383	3.67	1.86	0.32
4	-35	-160	-548	3.67	1.65	0.32
5	-4	-69	-288	3.67	2.32	0.32
6	-29	-93	-558	3.67	2.32	0.32
7	-183	-284	-27	1.83	1.73	0.32
8	45	27	34	2.24	1.18	0.42
9	57	37	44	3.06	1.39	0.42
10	50	32	40	2.44	1.22	0.42
11	72	31	16	2.55	1.26	0.42
12	28	5	8	2.85	1.63	0.42
13	85	58	76	2.65	1.71	0.42
14	57	44	43	3.57	1.91	0.42
15	33	15	20	1.53	0.90	0.21
16	43	32	8	1.53	0.73	0.21
17	47	36	28	1.73	1.08	0.21
18	49	35	33	1.83	1.04	0.21
19	54	38	56	1.78	0.98	0.21
20	62	44	57	1.73	1.04	0.21
21	67	52	62	1.77	1.04	0.21
22	63	54	67	0.78	0.50	0.11
23	55	53	59	0.56	0.28	0.11
24	76	62	61	0.87	0.36	0.11
25	50	33	53	0.61	0.41	0.11
26	25	4	5	0.60	0.30	0.11
27	39	42	24	0.67	0.34	0.11
28	65	44	20	0,88	0,38	0,11

Tabla n° 7.9.- Relleno plástico. Datos de caudales de agua de entrada

Día	Agua proceso (ml/min)
1	15
2	15
3	15
4	15
5	15
6	15
7	15
8	20
9	20
10	20
11	20
12	20
13	20
14	20
15	10
16	10
17	10
18	10
19	10
20	10
21	10
22	5
23	5
24	5
25	5
26	5
27	5
28	5

Tabla nº 7.10.- Relleno plástico. Tabla de observaciones

Día		Día	
1	Puesta en marcha	21	
2		22	
3		23	
4		24	
5		25	
6		26	Desprendimiento de la biopelícula
7		27	
8	Comienza a tomarme muestras tras la decantación secundaria	28	
9			
10			
11	Fallo del compresor		
12			
13			
14			
15	Se desprende sola la biopelícula		
16			
17			
18			
19	Lavado del soporte con aire		
20			

Observación microscópica

Una observación microscópica indicó que la biopelícula se encontraba bien colonizada, observándose fundamentalmente protozoos.

Como se observó la facilidad de desprendimiento de biopelícula, en las tablas anteriores de características del agua depurada así como la de la tabla de rendimientos y cargas se ha sombreado de color rojo los desprendimientos espontáneos de biopelícula, en azul los días en los días en los que realizan lavados del lecho y por último en amarillo los días en los que se producen fallos en el compresor y que dan lugar a desprendimientos de la biopelícula. En color rosa se ha sombreado los días en los que las muestras se tomaron del fondo del lecho.

Este sombreado de tablas permitirá no estar recurriendo a la tabla de observaciones en todo momento cuando se consulten los datos de salida y rendimientos de la planta piloto.

Los rendimientos negativos no tienen sentido, pero con ello se indicará que el volumen de contaminación que sale de la planta piloto es mayor que el que entra en ella, mostrando la necesidad de una toma de muestras tras una decantación secundaria, tal y como se hizo a partir del día 8 del mes Febrero.

7.6.3.- Relleno cerámico

Las tablas que recogen los resultados obtenidos con este tipo de relleno son:

Tabla nº 7.11.- Datos de entrada

Tabla nº 7.12.- Datos de salida

Tabla nº 7.13.- Rendimientos en DQO, DBO y SS. Cargas en DBO, SS e hidráulicas (kg DBO/m³.d, kg SS/m³.d y m³/m².d)

Tabla nº 7.14.- Caudales de entrada

Tabla nº 7.15.- Observaciones

Tabla n° 7.11.- Relleno cerámico. Datos de entrada

Día	pH	SS (mg/l)	DQO (mg/l)	DBO (mg/l)
1	7,7	56	304	140
2	7,7	108	355	185
3	7,7	104	343	140
4	7,7	108	294	150
5	7,7	100	341	145
6	7,7	76	305	170
7	7,7	118	333	180
8	7,8	94	337	160
9	7,8	94	372	160
10	7,8	94	335	240
11	7,7	74	280	200
12	7,8	82	376	190
13	7,8	86	391	200
14	7,9	64	358	179
15	7,8	82	350	175
16	7,7	116	301	270
17	7,7	64	319	210
18	7,8	88	427	85
19	7,8	106	345	172
20	7,8	72	343	150
21	8	122	360	130
22	7,9	86	245	123
23	7,8	82	318	150
24	7,9	112	348	174
25	7,8	146	544	150
26	7,3	98	388	194
27	7,8	95	350	175
28	7,7	90	467	210
29	7,8	102	469	210
30	8,1	82	406	230

Tabla n° 7.12.- Relleno cerámico.Datos de salida

Día	pH	SS (mg/l)	DQO (mg/l)	DBO (g/l)
1	7,6	7	67	20
2	7,6	9	71	20
3	7,6	16	58	15
4	7,6	12	62	20
5	7,6	14	65	20
6	7,6	17	82	25
7	8,2	46	167	50
8	8,2	38	158	45
9	8	33	141	45
10	8,3	39	168	50
11	8,1	29	115	35
12	8,2	30	150	46
13	8,3	71	344	105
14	8,2	56	322	100
15	8,1	25	133	40
16	7,7	24	87	25
17	8	32	188	55
18	8,2	62	337	100
19	8	51	197	60
20	8	31	165	50
21	8,2	70	252	75
22	8	59	194	60
23	8,1	67	267	80
24	7,8	13	84	25
25	7,8	45	180	55
26	8,2	68	299	90
27	8,2	40	276	80
28	8,2	42	277	85
29	8	21	130	40
30	8	22	150	45

Tabla n° 7.13.- Relleno cerámico. Rendimientos en DBO, DQO y SS, y cargas de DBO, SS e hidráulica (kg DBO₅ /m³.d, kg SS/m³.d, m³/m²)

Dia	Rendimientos			Cargas		
	DBO ₅	DQO	SS	kg DBO ₅ /m ³ .d	kg SS/m ³ .d	m ³ /m ² .d
1	86	78	88	0.71	0.29	0.11
2	89	80	92	0.94	0.55	0.11
3	89	83	85	0.71	0.53	0.11
4	87	79	89	0.76	0.55	0.11
5	86	81	86	0.74	0.51	0.11
6	85	73	78	0.87	0.39	0.11
7	72	50	61	0.92	0.60	0.11
8	72	53	60	0.81	0.48	0.11
9	72	62	65	0.81	0.48	0.11
10	79	50	59	1.22	0.48	0.11
11	83	59	61	2.04	0.75	0.21
12	76	60	63	1.94	0.84	0.21
13	48	12	17	2.04	0.88	0.21
14	44	10	13	1.82	0.65	0.21
15	77	62	70	1.78	0.84	0.21
16	91	71	79	2.75	1.18	0.21
17	74	41	50	3.21	0.98	0.32
18	18	21	30	1.30	1.34	0.32
19	65	43	52	2.63	1.62	0.32
20	67	52	57	2.29	1.10	0.32
21	42	30	43	1.99	1.86	0.32
22	51	21	31	1.88	1.31	0.32
23	47	16	18	3.06	1.67	0.42
24	86	76	88	3.54	2.28	0.42
25	63	67	69	3.06	2.97	0.42
26	54	23	31	3.95	2	0.42
27	54	21	58	3.57	1.94	0.42
28	60	41	53	4.28	1.83	0.42
29	81	72	79	4.28	2.08	0.42
30	80	63	73	4.69	1.67	0.42

Tabla n° 7.14.- Relleno cerámico. Datos de caudales de agua de entrada

Día	Caudal (ml/min)
1	5
2	5
3	5
4	5
5	5
6	5
7	5
8	5
9	5
10	5
11	10
12	10
13	10
14	10
15	10
16	10
17	15
18	15
19	15
20	15
21	15
22	15
23	20
24	20
25	20
26	20
27	20
28	20
29	20
30	20

Tabla n° 7.15.- Relleno cerámico. Tabla de observaciones

Día		Día	
1	Dos días en funcionamiento. Se comienza la analítica	16	
2	Lavado. Fallo del compresor	17	Lavado
3		18	Se descarga la tubería de alimentación de agua de proceso
4		19	Lavado
5		20	
6		21	Lavado
7	Lavado	22	
8		23	Lavado muy agresivo ya que estaba muy colmatada
9	Lavado	24	
10		25	Lavado
11	Lavado	26	Muy colmatada. Lavado muy agresivo
12		27	Lavado
13	Lavado	28	
14		29	Lavado
15	Lavado	30	

La observación microscópica de la biopelícula muestra poca colonización, ausencia de protozoos y estado anaeróbico como muestra la existencia de zoogreas fundamentalmente.

7.7.- ESTUDIO SISTEMÁTICO DE RESULTADOS.

En este apartado nos limitaremos a recoger los resultados obtenidos con los distintos tipos de relleno en una serie de tablas resumen de los mismos, así como una serie de gráficos, que se adjuntan en el Anejo nº 3: *Investigación de choque. Gráficos*, que aparece en el tomo de anejos, que ayuden a dar una interpretación a los resultados obtenidos.

7.7.1.- Relleno sepiolita

Los gráficos que recogen los resultados obtenidos con el relleno sepiolita, reflejando tanto la contaminación de entrada como de salida, para dar una idea inicial de las reducciones de polución que se consiguieron son los siguientes:

- Gráfico nº 7.1.- Investigación de choque. Relleno sepiolita. Entrada y salida DQO
- Gráfico nº 7.2.- Investigación de choque. Relleno sepiolita. Entrada y salida DBO₅
- Gráfico nº 7.3.- Investigación de choque. Relleno sepiolita. Entrada y salida SS

En la siguiente tabla se van a reflejar los valores medios de salida de la DQO, DBO₅ y SS, así como otras características estadísticas que ayudarán a dar una

interpretación de resultados.

Tabla n° 7.16.- DQO, DBO y SS medios de salida en mg/l. Sepiolita

	Media	Mediana	Desviación típica	Mínimo	Máximo
DQO	308	310	67,39953	212	435
DBO	126	120	29,47134	80	175
SS	68	62	23,49318	17	42

En el siguiente capítulo se recogerán las primeras conclusiones a las que se ha llegado con estos resultados. No obstante se pueden hacer las siguientes observaciones a partir de los resultados obtenidos hasta el momento y que son importantes tenerlas en cuenta para posteriores conclusiones:

1.- Aumento importante de SS en el agua depurada.

Se observaba como al llevar el relleno unos días de funcionamiento, aproximadamente una semana, se producía la aparición de restos de sepiolita en el efluente, como consecuencia de la disgregación de la misma, y que hizo necesaria la sustitución del relleno a los quince días de comenzar a trabajar con el, modificando las condiciones para la puesta a punto del relleno (tiempo y temperatura de calentamiento para dar más resistencia, según se indicó en el apartado de descripción de los rellenos)

2.- Bajos niveles de depuración.

En los gráficos puede observarse claramente la cercanía de las curvas de contaminación de entrada y salida, e incluso coincidencia y aumento de contaminación en la de salida. Esto es claramente indicativo de que los niveles de depuración alcanzados con la sepiolita son prácticamente nulos.

3.- Gran dispersión de datos

En la tabla nº 7.16 puede observarse la gran dispersión de datos obtenidos, indicativo de lo explicado en puntos anteriores.

7.7.2.- Relleno plástico

1.- Datos de entrada y salida

Los gráficos que recogen los resultados obtenidos con el relleno plástico, reflejando tanto la contaminación de entrada como de salida, para dar una idea inicial de las reducciones de polución que se consiguieron son los siguientes:

- Gráfico nº 7.4.- Investigación de choque. Relleno plástico. Entrada y salida DQO
- Gráfico nº 7.5.- Investigación de choque. Relleno plástico. Entrada y salida DBO₅
- Gráfico nº 7.6.- Investigación de choque. Relleno plástico. Entrada y salida SS.

2.- En función de la carga en DBO₅ de entrada:

Se adjuntan también gráficos que relacionan los rendimientos obtenidos y la

carga de DBO_5 de entrada, importante para intentar obtener unas primeras curvas orientativas de cuales pueden ser los rendimientos en eliminación de contaminación en función de las características del influente.

- Gráfico nº 7.7.- Investigación de choque. Relleno plástico. Rendimientos en DQO
- Gráfico nº 7.8.- Investigación de choque. Relleno plástico. Rendimientos en DBO
- Gráfico nº 7.9.- Investigación de choque. Relleno plástico. Rendimientos en SS

Además se incluirán otras que relacionen con la contaminación de entrada en DBO_5 los valores de la DBO_5 , DQO y SS de salida, permitiendo de esta forma obtener una primera aproximación de las características del efluente en función de la contaminación de entrada.

- Gráfico nº 7.13.- Investigación de choque. Relleno plástico. Salida DQO
- Gráfico nº 7.14.- Investigación de choque. Relleno plástico. Salida DBO
- Gráfico nº 7.15.- Investigación de choque. Relleno plástico. Salida SS

3.- En función de la carga de SS de entrada:

Lo mismo que se ha indicado anteriormente se ha realizado, pero esta vez estableciendo relaciones con la carga de SS del influente. Las gráficas obtenidas son:

- Gráfico nº 7.10.- Investigación de choque. Relleno plástico. Rendimientos en DQO

- Gráfico nº 7.11.- Investigación de choque. Relleno plástico. Rendimientos en DBO₅
- Gráfico nº 7.12.- Investigación de choque. Relleno plástico. Rendimientos en SS
- Gráfico nº 7.16.- Investigación de choque. Relleno plástico. Salida DQO
- Gráfico nº 7.17.- Investigación de choque. Relleno plástico. Salida DBO
- Gráfico nº 7.18.- Investigación de choque. Relleno plástico. Salida SS

En un pequeño análisis estadístico de los rendimientos y características del agua depurada se obtienen los resultados indicados en las tablas 7.17 y 7.18.

Tabla nº 7.17.- Rendimientos medios. Relleno plástico. Investigación choque

	Rendimiento DQO	Rendimiento DBO	Rendimiento SS
Media	37	53	39
Mediana	37	54	40
Desviación típica	15,1389633	14,9716285	20,8758342
Mínimo	4	25	5
Máximo	62	85	76

Tabla nº 7.18.- DQO, DBO y SS medios de salida, en mg/l. Relleno plástico.

	DQO	DBO	SS
Media	225	68	48
Mediana	211	64	44
Desviación típica	55,1350023	20,9775822	16,4007356
Mínimo	131	20	20
Máximo	333	101	76

A partir de los gráficos y tablas indicadas, y teniendo en cuenta las notas de

funcionamiento del lecho indicadas, se pueden hacer las siguientes observaciones que serán importantes a la hora de obtener unas conclusiones previas del funcionamiento del sistema con este relleno:

1.- En los primeros días de funcionamiento se produce un empeoramiento diario de los resultados. Se estaba recogiendo fango biológico procedente de la biopelícula que se desprendía y que se acumula en el fondo del reactor. Como consecuencia se comienzan a tomar las muestras, a partir del 8 de Febrero, tras una decantación secundaria. En esta fase los rendimientos indicados son negativos. Estos valores no tienen mucho sentido, pero se ha dejado de esta forma para indicar que el agua de salida tiene una contaminación más elevada que la de entrada.

2.- Se observan una serie de "puntas" de mal funcionamiento en los gráficos nº 7.4 a 7.6, indicando que se producen por desprendimientos de biopelícula espontáneos, los debidos a fallos en el compresor, o bien debido a los lavados con aire que se realizaron en el lecho. En los gráficos aparecen indicaciones de los fenómenos que se observaron.

3.- Los resultados obtenidos muestran una gran dispersión, y a pesar de resultados puntuales negativos, siempre relacionados con algún fenómeno conocido, existen otros casos en los que las muestras presentaron un alto grado

de depuración.

7.6.3.- Relleno cerámico

1.- Datos de entrada y salida

Los gráficos que recogen los resultados obtenidos con el relleno cerámico, reflejando tanto la contaminación de entrada como de salida, para dar una idea inicial de las reducciones de polución que se consiguieron son los siguientes:

- Gráfico nº 7.19.- Investigación de choque. Relleno cerámico. Entrada y salida DQO
- Gráfico nº 7.20.- Investigación de choque. Relleno cerámico. Entrada y salida DBO
- Gráfico nº 7.21.- Investigación de choque. Relleno cerámico. Entrada y salida SS

2.- En función de la carga en DBO de entrada:

Se adjuntan también gráficos que relacionan los rendimientos obtenidos y la carga de DBO_5 de entrada, importante para intentar obtener unas primeras curvas orientativas de cuales pueden ser los rendimientos en eliminación de contaminación en función de las características del influente.

- Gráfico nº 7.22.- Investigación de choque. Relleno cerámico. Rendimientos en DQO
- Gráfico nº 7.23.- Investigación de choque. Relleno cerámico. Rendimientos en DBO
- Gráfico nº 7.24.- Investigación de choque. Relleno cerámico. Rendimientos en SS

Además se incluirán otras que relacionen con la contaminación de entrada en DBO₅, los valores de la DBO₅, DQO y SS de salida, permitiendo de esta forma obtener una primera aproximación de las características del efluente en función de la contaminación de entrada.

- Gráfico nº 7.28.- Investigación de choque. Relleno cerámico. Salida DQO
- Gráfico nº 7.29.- Investigación de choque. Relleno cerámico. Salida DBO
- Gráfico nº 7.30.- Investigación de choque. Relleno cerámico. Salida SS

3.- En función de la carga de SS de entrada:

Lo mismo que se ha indicado anteriormente se ha realizado, pero esta vez estableciendo relaciones con la carga de SS del influente. Las gráficas obtenidas son:

- Gráfico nº 7.25: Investigación de choque. Relleno cerámico. Rendimientos en DQO
- Gráfico nº 7.26: Investigación de choque. Relleno cerámico. Rendimientos en DBO
- Gráfico nº 7.27: Investigación de choque. Relleno cerámico. Rendimientos en SS
- Gráfico nº 7.31.- Investigación de choque. Relleno cerámico. Salida DQO
- Gráfico nº 7.32.- Investigación de choque. Relleno cerámico. Salida DBO
- Gráfico nº 7.33.- Investigación de choque. Relleno cerámico. Salida SS

En un pequeño análisis estadístico de los rendimientos y características del agua de salida, se obtienen los resultados siguientes, indicados en las tablas 7.19 y 7.20.

Tabla n° 7.19.- Rendimientos medios. Relleno cerámico. Investigación choque

	Rendimiento DQO	Rendimiento DBO	Rendimiento SS
Media	52	71	90
Mediana	56	74	61
Desviación típica	22,8215298	15,002259	22,4245897
Mínimo	10	42	13
Máximo	83	91	92

Tabla n° 7.20.- DQO, DBO y SS medios de salida, en mg/l. Relleno cerámico

	DQO	DBO	SS
Media	173	52	36
Mediana	162	48	33
Desviación típica	86,3518899	26,2151144	19,3048353
Mínimo	58	15	7
Máximo	344	105	71

Los aspectos de funcionamiento que parecen importantes indicar para luego ayudar a obtener unas conclusiones previas son:

- 1.- Se observa que este relleno, que al permanecer sumergido llega hasta una densidad de 2,4, dificulta de manera importante el funcionamiento correcto del lecho, haciendo difíciles los lavados (hay que tener no obstante en cuenta que estos se hacen a una pequeña escala que no pueden compararse con los que realmente se van a hacer en la planta a escala semitécnica)

2.- En los datos de salida del filtro, sin decantación, se puede observar como se producen algunos *picos* debido a fallos mecánicos, así como un progresivo empeoramiento de resultados que lleva a la colmatación final del lecho.

3.- Como consecuencia de los procesos de colmatación la aireación no es efectiva y se observan procesos de anaerobiosis, como puede deducirse además de los resultados del estudio microscópico.

8.- CONCLUSIONES PREVIAS

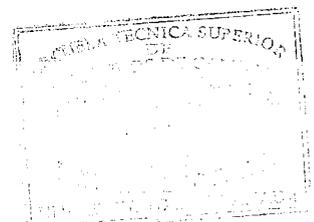
8.- CONCLUSIONES PREVIAS

8.1.- CONCLUSIONES PREVIAS. SEPIOLITA

El día **1 de Enero de 1994** se comienza a trabajar con la sepiolita, tratada tal y como se ha indicado en el capítulo anterior.

Inicialmente se comenzó con buenos resultados, que empezaron a empeorar a los pocos días. Se realizó un lavado manual con aire, pero los resultados continuaron siendo muy negativos. A los quince días se sacó el relleno, comprobándose que se había deteriorado, *presentando un aspecto de masa arcillosa blanquecina en la que incluso se apreciaba un avanzado estado de anaerobiosis.*

Se procedió a un nuevo llenado, repitiéndose el proceso de tratamiento térmico, pero modificando las condiciones, como se indicó en el capítulo anterior. Los resultados



negativos volvieron a repetirse.

Puede concluirse por tanto que la SEPIOLITA NO ES APTA PARA SU USO COMO SOPORTE DE FILTROS BIOLÓGICOS INUNDADOS, debido a su degradación a los pocos días de entrar en contacto con el agua residual.

Hay que añadir que en la planta piloto a escala de laboratorio la degradación se ha producido por el ataque del agua residual. En el caso de una planta a escala real, tendríamos que sumar la degradación como consecuencia de los agresivos efectos mecánicos de los lavados.

8.2.- CONCLUSIONES PREVIAS. RELLENO PLÁSTICO

El día 1 de Febrero de 1994 se procede al llenado de la planta piloto a escala de laboratorio con el material plástico, las lentejas de polietileno.

8.2.1.- Problemas del relleno

1.- Para proceder a la carga del reactor se introduce primero una columna de agua de unos 20 cm. Entonces se introducen las lentejas; **surge el problema de que estas flotan**, como lógicamente se esperaba, teniendo en cuenta los resultados obtenidos de los estudios de densidad realizados. Esto unido a la gran uniformidad del relleno, da lugar a la formación de una gran masa de lentejas compacta, que flota sobre el agua.

Como consecuencia de la flotabilidad del relleno se pudieron distinguir tres capas en el lecho, tal y como se indicó en el capítulo anterior y que se piensa trabajarían así:

- Una parte *superior* que flota y que queda regada por el agua de entrada. Funciona por tanto como un lecho bacteriano.
- Una parte *intermedia*, sumergida y que se supone trabaja como un lecho biológico inundado.
- Una última parte *inferior*, sólo con agua que se cree trabaja como unos fangos activados.

2.- Otro problema que se nos presenta con este relleno es que **no es posible la utilización del sistema de lavado del que se dispone en la planta piloto semitécnica, de agua y aire inferior** ya que se produciría un arrastre de las lentejas. No obstante en la planta piloto de laboratorio sólo se ha podido experimentar con lavados sólo con aire. Debido a las limitaciones del sistema, los pequeños incrementos de caudal de aire y al no existir una altura de seguridad entre la parte superior de la columna y del lecho, daban lugar a pérdidas de relleno, que hubiesen sido más agresivas si se hubieran llevado a cabo también con agua de lavado desde la parte inferior del lecho.

3.- Aunque la puesta en marcha es de aproximadamente una semana, luego la biopelícula se crea a los dos días aproximadamente, pero de igual forma se **desprende con mucha facilidad**. Basta simplemente un pequeño incremento del caudal de aire para

que se produzca una agitación suficiente para desprender la biopelícula existente.

4.- Por último, el pequeño tamaño del relleno, así como su forma uniforme junto al hecho de que flota, dio lugar a la *formación de caminos preferenciales para la circulación del aire*, aireando la periferia de la columna, pero dejando la parte interior menos oxigenada y formándose unos bloques densos y prácticamente infranqueables.

5.- No se puede trabajar con caudales de aire muy altos ya que el soporte estaría en continua agitación, no pudiendo hablar entonces de filtros inundados, sino de lechos fluidificados.

8.2.2.- Conclusiones obtenidas a partir del análisis de resultados

En los gráficos del capítulo anterior correspondientes a la relación de cargas y rendimientos o valores de salida de DQO, DBO y SS, puede observarse una gran dispersión de datos. Se supone que esto es en parte debido a las limitaciones del sistema que se ha utilizado, los desprendimientos de biopelícula incontrolados o como consecuencia de los lavados, así como a los distintos problemas que se han presentado en una etapa inicial que servirá para poner a punto fases posteriores.

1.- Los rendimientos medios alcanzados muestran la posibilidad de obtener buenos resultados con este tipo de relleno, regulando en principio lo referente a caudales de aire y frecuencia de lavados.

2.- Necesidad de una decantación secundaria o filtro de arena a la salida del filtro biológico.

3.- En principio los lavados pueden no ser necesarios, o al menos no muy frecuentes, permitiendo de esta forma conseguir importantes ahorros a la hora de explotar este tipo de sistema si se alcanza una optimización de los mismos.

4.- Posibilidad, debido a la flotabilidad del lecho, de eliminar la decantación secundaria o filtración del efluente si se utiliza la alimentación inferior de aire de proceso.

5.- Las relaciones cargas (DBO, DQO y SS) / rendimientos (DBO, DQO, SS) no permiten llegar a conclusiones debido a que se recogen datos obtenidos tras lavados, desprendimientos de biopelícula o fallos mecánicos, que implican una reducción de los rendimientos y que además proporcionan al final unos valores medios de los rendimientos bajos.

6.- Existe una gran dispersión de datos, que se podría suavizar algo si se hiciese una corrección de datos, eliminando los obtenidos en circunstancias especiales, como tras los lavados, desprendimientos de biopelícula o fallos mecánicos. Esta dispersión de datos se produce como consecuencia de los desprendimientos de biopelícula que daban lugar a un incremento de fangos biológicos en el efluente.

7.- En principio, por lo que ha podido observarse, se producen los desprendimientos debido a:

- . incremento en el caudal de aire, bien por fallos mecánicos o por los lavados a los que se sometía,
- . desprendimientos esporádicos que se realizaban de forma autónoma cuando la biopelícula alcanzaba un cierto grosor y que se observó se producían más o menos a los 6-7 días.

Todo esto puede justificarse ya que el relleno no presenta rugosidades algunas, sino que es completamente liso, por lo que la biopelícula se desprende cuando alcanza un cierto grosor o bien cuando el incremento de aire da lugar a movimientos bruscos del relleno que al friccionarse entre ellos hacen que se desprenda la biopelícula.

8.- En el período de tiempo utilizado el material resiste la agresividad del medio en que se encuentra.

Los aspectos más importantes de estas conclusiones previas se resumen en los siguientes puntos:

- Problemas por la baja densidad del relleno dando lugar a la flotación del mismo.
- Superficie muy lisa que no facilita la fijación de la biopelícula

- No se puede trabajar con caudales de aire altos ya que dan lugar a agitaciones en el relleno que no permiten la fijación de la biopelícula.

- Debido a un "autocontrol" en el crecimiento de la biopelícula no parecen ser necesarios lavados muy frecuentes.

- Necesidad de una decantación secundaria u otro tipo de tratamiento de afino.

- Resistencia del material a la agresividad del medio.

- Aunque existe gran dispersión de datos, que muestran en muchos casos resultados muy negativos en cuanto al nivel de depuración que puede alcanzarse, se puede intentar una optimización del funcionamiento del lecho en unas condiciones menos limitadas como la planta piloto de laboratorio.

- Las características de densidad del relleno hacen suponer un mejor funcionamiento con alimentación inferior del lecho ya que esto facilitaría su actuación como filtro y posibilidad de eliminar un decantador secundario.

8.3.- CONCLUSIONES PREVIAS. RELLENO CERAMICO

En el mes de **Marzo de 1994** se comienza a trabajar con el relleno cerámico como soporte.

8.3.1.- Problemas con el relleno

1.- Se formaban importantes masas de biopelícula muy difíciles de eliminar por el sistema de lavado del que se disponía ya que sólo se podía lavar con aire, y no se conseguía un correcto arrastre de la masa de biopelícula que se desprendía.

2.- La elevada densidad saturada del relleno unido a la gran altura de la columna, en relación con la sección de la misma, hacía los lavados prácticamente inútiles, y además muy frecuentes, ya que lo único que se conseguía era despegar la biopelícula del relleno, pero esta quedaba atrapada entre las partículas. Esto daba lugar a empeoramientos importantes de los resultados. En principio se podían resolver con lavados muy agresivos, así como en alguna ocasión con la extracción de parte del relleno y sustitución de otro nuevo; al cabo de algún tiempo empieza a observarse un alto grado de colmatación como consecuencia de la biopelícula muerta, unido a una aparente colmatación de la microestructura porosa del relleno, lo que hizo imposible seguir trabajando con este relleno.

3.- Parece ser necesario incrementar de forma apreciable el caudal de aire ya que el compresor tuvo que ponerse a funcionar prácticamente al 100% para conseguir

algunos buenos rendimientos. Estamos en este aspecto muy limitados en lo que se refiere a la medida del caudal de aire en esta fase, dado lo simplificado del sistema utilizado.

8.3.2.- Conclusiones obtenidas a partir del análisis de resultados

En los gráficos del capítulo anterior correspondientes a la relación de cargas y rendimientos o valores de salida de DQO, DBO y SS, puede observarse una gran dispersión de datos. Se supone que esto se debe en parte a las limitaciones del sistema que se ha utilizado, así como a los distintos problemas que se han presentado en una etapa inicial que servirá para poner a punto fases posteriores.

1.- En este caso la elevada densidad del relleno es la que ocasiona los problemas que se presentan con este relleno.

2.- Al tratarse de un material muy poroso, cuando se sumerge en agua se satura, adquiriendo una densidad saturada de 2,7. Esto hace que la columna *pese mucho* y sea difícil por un lado una alimentación uniforme de aire y por otro unos lavados efectivos.

3.- Para trabajar correctamente con este relleno la alimentación de aire debería permitir mantener el *relleno esponjado*, y esto es imposible ya que pesa demasiado.

4.- Por otro lado la elevada densidad, unido a que la columna de relleno es demasiado alta en relación con la sección de la misma, hacen que los lavados no permitan

un esponjamiento adecuado de la columna que lleve a un desprendimiento y eliminación de la biopelícula. En consecuencia se va produciendo una colmatación progresiva del lecho que finalmente como consecuencia de la acumulación de biopelícula muerta, entra en fase anaerobia, haciendo imposible seguir trabajando con el mismo. No obstante hay que considerar las limitaciones de la planta piloto utilizada. En plantas a una escala mayor pueden no producirse estos problemas.

5.- Podría ser interesante por tanto reducir la densidad y el tamaño del relleno, y si es posible la altura de columna, para conseguir de esta forma *aligerar* la masa de relleno que permita unos lavados más efectivos. Se podría trabajar de esta forma con tamaños y densidades distintas de soporte, así como con alturas distintas de columna.

6.- El crecimiento de la biopelícula es rápido, aparentemente se recupera con facilidad tras los lavados.

7.- Las necesidades de lavado son elevadas, aunque esto puede ser debido a que no se consigue en estos ciclos un lavado completo.

8.-En principio parece posible la eliminación de una decantación secundaria.

9.- Por último indicar que en principio este soporte parece resistir la agresividad del medio en que se encuentra.

un espón. El resultado de los ensayos muestra que se debe mejorar el sustrato y parte de los problemas del fango consecuencia se va produciendo una colonización progresiva del lecho que finalmente como consecuencia de la acumulación de biopelícula muerta, entra en fase de coagulación y precipitación. Los resultados obtenidos en el trabajo con cerámicas pueden servir de base para las investigaciones en las instalaciones de la planta piloto utilizada. En plantas a una escala mayor pueden no producirse estos problemas.

- Resistencia del material al medio.

5.- Podría ser interesante por tanto reducir la densidad y el tamaño del relleno, y si es posible hacer un "masa" de biopelícula que impida que se lavados y rápida relleno con partículas de biopelícula más efectivos. Se podría trabajar de esta forma con tamaños y densidades distintas de soporte, así como con alturas distintas de columna.

- La elevada densidad del material contribuye a dificultar tanto la eliminación de

6.- El mantenimiento de la biopelícula durante el proceso, por lo que los parámetros de facilidad de acceso y de mecanismo parecen ser importantes. Las reducciones en la

granulometría del material, posibles impermeabilizaciones o bien reducción de la

7.- La coagulación puede favorecerse a la hora de obtener rendimientos que no se consigue en estos tipos un lavado completo.

- Si se mantiene la estructura de filtro con una capa anaerobia bajo la parrilla de aireación es posible la eliminación del decantado secundario.

- Los rendimientos obtenidos en depuración son bajos, pero la mejora de los problemas indicados podrían elevar estos resultados.

8.4.- RESUMEN Y COMPARACION ENTRE RELLENOS

En la siguiente tabla se van a recoger los resultados más significativos obtenidos en esta investigación de choque:

Tabla nº 8.1.- Comparación entre sistemas

	Resistencia a la agresividad del medio	Necesidad de lavados	Necesidad de oxígeno	Problemas más importantes	Rendto. medio DBO	Rendto. medio DQO	Rendto. medio SS
Sepiolita	NO	-	-	Degradación	-	-	-
Plástico	SI	Baja-nula	Baja	Flota. Densidad < 1	0,53	0,37	39%
Cerámico	SI	Muy alta	Muy alta	Densidad muy alta. Saturación	0,7	0,52	60%

Se va a hacer también una comparación de rendimientos entre sistemas. Estos resultados se recogen en la tabla 8.2 y en el gráfico 8.1, observándose como con el relleno cerámico se consiguen rendimientos más altos que con el plástico. No se ha comparado con la sepiolita dado su mal comportamiento frente a la agresión del medio. También se van a comparar los valores de salida de DQO, DBO y SS obtenidos con los distintos medios. Esto se refleja en la tabla 8.3 y en el gráfico 8.2. Tampoco se procederá a indicar los datos de la sepiolita por los motivos expuesto ya anteriormente. Se concluye que los niveles de depuración obtenidos serán menores, lógicamente (ya que los rendimientos han sido también menores), en el relleno plástico.

Tabla nº 8.2.- Comparación de rendimientos según tipo de relleno estudiado

Soporte		Media	Mediana	Desviación típica	Mínimo	Máximo
Sepiolita	DQO	-	-	-	-	-
	DBO	-	-	-	-	-
	SS	-	-	-	-	-
Relleno plástico	DQO	37	37	15,1389633	4	62
	DBO	53	54	14,9716285	25	85
	SS	39	40	20,8758342	5	76
Relleno cerámico	DQO	52	56	22,8215298	10	83
	DBO	71	74	15,002259	42	91
	SS	60	61	22,4245897	13	92

Tabla nº 8.3.- Comparación de datos de salida, DQO, DBO y SS según tipo de relleno estudiado

Soporte		Media	Mediana	Desviación típica	Mínimo	Máximo
Sepiolita	DQO	-	-	-	-	-
	DBO	-	-	-	-	-
	SS	-	-	-	-	-
Relleno plástico	DQO	225	211	55,1650023	131	333
	DBO	68	64	20,9775822	20	101
	SS	48	44	16,4007356	20	76
Relleno cerámico	DQO	173	162	86,3518899	58	344
	DBO	52	48	26,2151144	15	105
	SS	36	33	19,3048353	7	71

Los gráficos 8.1 y 8.2 se recogen en el Anejo nº 3: *Investigación de choque.*

9.- MODIFICACIONES

9.- MODIFICACIONES

9.1.- MODIFICACIONES EN LA PLANTA PILOTO

Teniendo en cuenta las conclusiones previas del capítulo anterior y al ser el diseño de la planta piloto a escala de laboratorio análogo a la de escala semitécnica, antes de comenzar a trabajar con esta última son necesarias las siguientes modificaciones: (hay que indicar que algunas de estas modificaciones ya se contemplan a la hora de describir la planta piloto semitécnica ya que hay que tener en cuenta que su puesta a punto se hizo simultáneamente al desarrollo de la investigación de choque)

- 1.- Completar con una línea de agua inferior. Será por tanto necesario colocar una entrada inferior de agua de proceso y una salida por la parte superior por encima del nivel de agua. Para evitar que se salgan las lentejas se puede optar por colocar un filtro en la salida del agua de proceso. Para esta salida se va a

utilizar el tubo que se sirve para medir la pérdida de carga y permite el disparo de los lavados ya que con este relleno no son necesarios los lavados periódicos y en caso de que en un momento dado fuese necesaria la eliminación de biopelícula se optaría por un lavado sólo con aire.

2.- Al observarse con la facilidad con la que se desprende la biopelícula hay que regular el caudal de aire para evitar las descargas bruscas y puntuales de aire que en la etapa anterior daba lugar a repentinos desprendimientos de la biopelícula.

3.- Construcción de un dispositivo filtrante que permita mantener sumergidas las lentejas y que permita el paso del agua para intentar trabajar con ellas sumergidas.

4.- Para trabajar con el relleno cerámico disponer de tomas a distintas alturas del lecho para poder optimizar su altura dados los problemas de densidad que se presentaron en la fase previa.

5.- Aunque se observó el funcionamiento correcto con el relleno cerámico, dejando una capa anaerobia bajo la parrilla filtrante se trabajará sin ella por lo que será necesaria disponer una entrada de aire por la parte inferior del lecho.

9.2.- OBJETIVOS DEFINITIVOS

Una vez definidas las conclusiones previas indicadas en el capítulo anterior y una vez vistas las limitaciones del relleno plástico y del cerámico, se van a establecer unos nuevos objetivos definitivos, que fijan la línea de investigación final de estos rellenos.

Los objetivos definitivos fijados son por tanto:

A).- Relleno plástico:

- Estudio de alternancias de flujo.

A.1.- Alimentación superior

- Deducción de la banda de funcionamiento de la carga orgánica e hidráulica con un relleno plástico obtenido a partir del reciclado de plástico de los invernaderos.

Optimización de los parámetros de diseño.

- Estudio del reactor biológico con alimentación de agua de proceso superior, manteniendo el plástico sumergido completamente y en caso de que funcione correctamente.

- Estudio de las necesidades de lavados.

A.2.- Alimentación inferior

- Estudio del reactor biológico con alimentación de agua de proceso inferior.

- Deducción de la banda de funcionamiento de la carga orgánica e hidráulica con un relleno plástico obtenido a partir del reciclado de plástico de los invernaderos. Optimización de los parámetros de diseño.

- Estudio de las necesidades de lavado.

B).- Relleno cerámico procedente del machaqueo de ladrillos

- Estudio del funcionamiento del reactor con alimentación superior o inferior utilizando distintas granulometrías, así como procediendo a la impermeabilización o no del mismo para evitar su saturación ya que se trata de un material muy poroso.

- Estudio de la capacidad de depuración con distintas alturas de filtro para conseguir la optimización de la misma; esto es importante tanto desde el punto de vista económico como por el de explotación ya que se ha indicado los problemas de lavado que se presentan dada la altura de filtro elevada con la que se trabajó.

- Deducción de la banda de funcionamiento de la carga orgánica e hidráulica con

el relleno cerámico. Optimización de los parámetros de diseño.

- Optimización de los procesos de lavado.

- Estudio de posible alternancia de flujo.

9.3.- VARIABLES Y PARAMETROS DEFINITIVOS

9.3.1.- Parámetros

- pH
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)
- Demanda Química de Oxígeno (DQO)
- Sólidos en suspensión

9.3.2.- Variables

A) En relleno plástico

- 1.- *Carga hidráulica ($m^3/h/m^2$)*
- 2.- *Carga orgánica ($kg\ DQO/m^3.d$)*
- 3.- *Aire de proceso*, que permita determinar los $kg\ O_2/kg\ DBO_5$ eliminado

B).- En relleno cerámico

- 1.- *Carga hidráulica ($m^3/h/m^2$)*

2.- *Carga orgánica (kg DQO/m³.d)*

3.- *Aire de proceso*, que permita determinar los kg O₂/kg DBO₅ eliminado

4.- *Ciclos de lavado:*

. *Carrera de filtro*, entendida como el tiempo que debe de haber entre uno y otro lavado.

. *Duración de los ciclos de lavado*

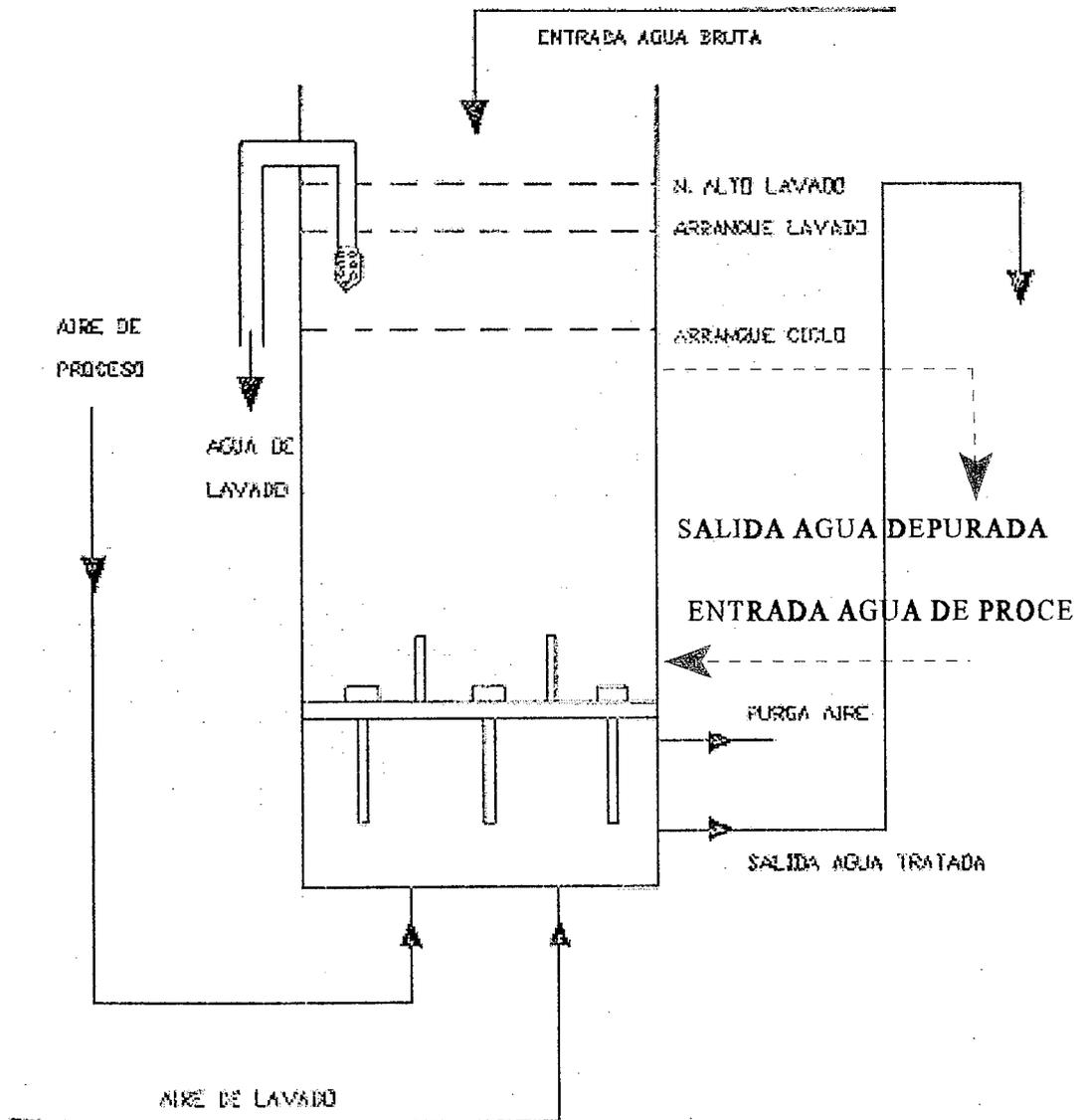
. *Caudal del agua de lavado*

. *Caudal del aire de lavado*

5.- *Tamaño* del relleno

4.- *Altura* del filtro

Figura nº 9.1.- Modificación en planta piloto semitécnica. Introducción flujo ascendente



10.- INVESTIGACION DE FONDO

10.- INVESTIGACION DE FONDO

10.1.- INTRODUCCION

La investigación de choque se realizó pretendiendo conocer:

- 1.- El comportamiento de los materiales elegidos como soporte en los filtros biológicos inundados.
- 2.- El funcionamiento del sistema diseñado.
- 3.- Tener una primera estimación de los intervalos en los que podrían moverse los rendimientos en depuración.
- 4.- Necesidades de lavados

Tras tener una idea básica de cual era el comportamiento de los sistemas diseñados, así como de los rellenos utilizados se pasó a un estudio más exhaustivo de

estos materiales según los objetivos definitivos fijados.

10.2.- MATERIALES UTILIZADOS COMO SOPORTE

10.2.1.- Rellenos utilizados

A partir de las conclusiones obtenidas anteriormente pudo concluirse que para la investigación de fondo iban a utilizarse dos de los rellenos ensayados:

1.- Relleno plástico

Con las mismas características que en la investigación de choque:

- *densidad 0,9*
- *espesor 1 mm*
- *diámetro 5 mm*
- *tamaño uniforme en todas las partículas.*

2.- Relleno cerámico

En este caso se realizaron dos modificaciones en el relleno, con la finalidad de mejorar sus rendimientos y su funcionamiento:

a.- *Granulometría:*

Como se comprobó que la elevada densidad del relleno podría ser un factor negativo para el buen funcionamiento del sistema, se eligieron en esta fase

de trabajo dos granulometrías para el relleno:

. la inicial, es decir entre 5 y 7 mm, ya que existía la posibilidad de que en la planta piloto semitécnica, las limitaciones funcionales que se encontraron en la planta a escala de laboratorio fueran menores, y por tanto facilitarse el funcionamiento.

. una granulometría entre 2 y 5 mm ya que la disminución de tamaño podría facilitar los procesos de lavado.

Además de esta forma se podrían comparar resultados de rendimientos obtenidos en función de la granulometría del relleno, una de las variables establecidas para esta investigación de fondo.

b.- *Densidad:*

Una vez que se observaron los problemas de saturación del relleno y en consecuencia los incrementos de densidad se optó por utilizar un impermeabilizante para evitar esta saturación y por tanto el incremento de densidad. Para conseguir un funcionamiento correcto del relleno impermeabilizado se tenía que buscar un producto que consiguiera la mayor impermeabilización posible, pero a la vez mantener la porosidad, es decir, un

grado de circulación de fluido dentro de las partículas del relleno, para conseguir una microestructura que facilitase la fijación y el crecimiento de los microorganismos.

Las características por tanto en el relleno cerámico en este caso son:

- *densidad seca 2,3*
- *tamaño uniforme*
- *granulometría de 5 a 7 mm y de 2 a 5 mm*; se buscó una granulometría que fuese aproximada a otros rellenos ya patentados.
- *impermeabilizado, en este caso la densidad se mantiene en 2,3*
- *también se utiliza no impermeabilizado, en este caso la densidad saturada es de 2,7*

Además se optó por trabajar analizando los niveles de depuración a distintas alturas del filtro, para conseguir optimizar el volumen de relleno necesario. Esto permitiría ahorros en material a la hora de diseñar un sistema de depuración de este tipo, pero además facilitaría las labores de lavado de los filtros, que son algo complicadas como consecuencia del gran peso de la columna de relleno.

10.2.2.- Resina impermeabilizadora

Con la finalidad de conseguir una disminución de la densidad saturada del relleno cerámico se utilizó como material impermeabilizante una resina de base silano-siloxano, en un disolvente orgánico.

Este producto fue proporcionado por la empresa *FOSROC, S.A* (Vizcaya. Delegaciones en Madrid, Barcelona, Alicante, Asturias, Córdoba, Málaga, Sevilla y Valencia).

10.2.2.1.- Descripción del producto

El sistema DEKGUARD es un sistema protector para hormigón y mortero constituido por una gama integral de revestimientos protectores y decorativos, diseñados para proteger estructuras tanto nuevas como antiguas, de hormigón o mortero, contra el ataque del agua, cloruros, sulfatos y gases ácidos tales como el CO₂. Se utiliza en una amplia gama de estructuras de ingeniería civil y edificación, incluyendo puentes, aparcamientos y edificios comerciales e industriales. Además constituye la protección final del SISTEMA DE REPARACION RENDEROC DE FOSROC.

DEKGUARD es un sistema de doble protección, el cual alcanza mediante combinación sinérgica de una imprimación penetrante hidrofóbica y

una capa de acabado.

La imprimación aporta la principal protección contra la penetración de cloruros e iones sulfatos. La capa de acabado refuerza las propiedades de la imprimación y protege contra la carbonatación y polución, a la vez que permite la transpiración.

La imprimación de base silano-siloxano en un disolvente orgánico penetra profundamente en los poros del hormigón, obteniéndose así una barrera contra la entrada de los sulfatos y/o cloruros. De esta forma se consigue una protección de las armaduras frente a los efectos negativos de los iones.

10.2.2.2.- Ventajas

- Protección contra la carbonatación. Excelente barrera contra el CO₂.
- Protección contra cloruros. Alta resistencia a la prenetración de los mismo.
- Transpirable: permite el paso del vapor de agua de dentro hacia fuera.
- Durabilidad: alta resistencia a la intemperie y a las heladas.
- Fácil aplicación: producto monocomponente.

10.2.2.3.- Modo de empleo

Preparación de la superficie

La superficie debe estar completamente curada, libre de lechada, seca y exenta de contaminación (aceites, curadores, etc...).

Aplicación

El DEKGUARD IMPRIMACIÓN se aplica en varias capas hasta conseguir el rendimiento aproximado de 0,4 litros/m². Se dejará secar durante un mínimo de dos horas. Este tiempo se incrementará bajo condiciones adversas. No se debe aplicar la capa de acabado hasta que la imprimación esté seca.

Si el substrato es muy absorbente se aplicará el DEKGUARD IMPRIMACIÓN hasta saturación superficial.

10.2.2.4.- Aplicación de la resina impermeabilizadora en el relleno cerámico

Para realizar la impermeabilización del relleno cerámico se procedió de la siguiente forma:

Lavado del relleno, tanto el de granulometría de 5 a 7 mm como el de granulometría de 2 a 5 mm. Para ello se procedió a su extensión y aplicación de agua a presión hasta que se dejó de observar que el agua que escurría tenía color

rojizo, debido al polvo que desprendía el relleno.

Secado del relleno; debido a la gran porosidad del relleno tardó mucho en secarse, por lo que a la semana, al comprobarse que todavía permanecía húmedo se trasladó hasta los hornos de la Fábrica de Cerámicas SILES, que proporcionaron este material, donde permanecieron en sacos durante tres días a una temperatura de 80 °C, hasta conseguir su secado total.

Aplicación de la resina; ante la dificultad para aplicar la resina impermeabilizadora debido al pequeño tamaño de las partículas, se optó por la posibilidad de ir sumergiendo el relleno en pequeñas cantidades en esta resina, manteniéndolo durante un par de minutos, hasta que estuviese completamente saturado por dicho producto.

Secado del relleno; el relleno con la resina impermeabilizadora se extendió y se dejó secar durante diez días.

10.2.3.- Doble capa

Se ha trabajado también con los dos materiales conjuntamente. Debido a las diferencias de densidad no podían mezclarse ya que finalmente se ordenarían de forma que el relleno cerámico quedaría en el fondo y las lentejas en la parte superior, con una

capa flotando. Se optó por colocar las lentejas debajo y sobre estas, con un filtro intermedio que impedía la mezcla de los materiales, el relleno cerámico de forma que el lecho resultante quedase completamente sumergido. El relleno cerámico utilizado tenía las siguientes características:

- densidad 2,3
- impermeabilizado y en otra fase de trabajo no impermeabilizado
- granulometría de 2 a 5 mm
- formas irregulares
- densidad saturada (en el caso de no estar impermeabilizado) 2,7.

Las lentejas de plástico utilizadas fueron las mismas que en la investigación de choque y con las características ya indicadas.

10.3.- FASES DE TRABAJO

En la investigación de fondo se han desarrollado las siguientes fases de trabajo:

A) RELLENO PLASTICO

A.1.- ALIMENTACION DE AGUA DE PROCESO SUPERIOR

A.1.1.- LENTEJAS FLOTANDO

A.1.2.- LENTEJAS SUMERGIDAS

A.2.- ALIMENTACIÓN DE AGUA DE PROCESO INFERIOR

A.2.1.- LENTEJAS FLOTANDO

A.1.2.- LENTEJAS SUMERGIDAS

B) RELLENO CERAMICO

B.1.- GRANULOMETRIA 5 A 7 mm Y RELLENO SIN IMPERMEABILIZAR.

B.1.1.- ALIMENTACION AGUA DE PROCESO SUPERIOR

B.1.2.- ALIMENTACION AGUA DE PROCESO INFERIOR

B.2.- GRANULOMETRIA 2 A 5 mm Y RELLENO IMPERMEABILIZADO.

B.1.1.- ALIMENTACION AGUA DE PROCESO SUPERIOR

B.1.2.- ALIMENTACION AGUA DE PROCESO INFERIOR

B.3.- GRANULOMETRIA 2 A 5 mm Y RELLENO NO IMPERMEABILIZADO.

B.1.1.- ALIMENTACION AGUA DE PROCESO SUPERIOR

B.1.2.- ALIMENTACION AGUA DE PROCESO INFERIOR

C) DOBLE CAPA

C.1.- RELLENO CERAMICO GRANULOMETRIA 2 A 5 mm NO IMPERMEABILIZADO Y RELLENO PLASTICO

Todo lo indicado anteriormente se resume en una tabla para facilitar su comprensión. Ver tabla 10.1.

Tabla 10.1.- Fases de trabajo en la investigación de fondo

RELLENO	FASE	ESTADO	GRANULOMETRIA	IMPERMEABILIZ.	ALIMENTAC
PLASTICO	1ª	Flotando	5 mm	-	Superior
	2ª	Flotando	5 mm	-	Inferior
	3ª	Sumergid	5 mm	-	Superior
	4ª	Sumergid	5 mm	-	Inferior
CERAMICO	1ª	-	5 a 7 mm	No	Superior
	2ª	-	5 a 7 mm	No	Inferior
	3ª	-	2 a 5 mm	Si	Superior
	4ª	-	2 a 5 mm	Si	Inferior
	5ª	-	2 a 5 mm	No	Superior
	6ª	-	2 a 5 mm	No	Inferior
DOBLE CAPA	1ª	Sumergid	2 a 5 (cerámico)/5 mm	No	Superior

10.4.- INVESTIGACION DE FONDO. RELLENO PLASTICO

10.4.1.- Metodología y fases del ensayo

En primer lugar se comenzó a trabajar con el relleno plástico. Esta etapa se desarrolló durante siete meses, de Abril a Octubre de 1994.

Se vuelve a utilizar el mismo relleno que en la investigación de choque y con las

características ya indicadas. Con este material soporte se ha trabajado de distintas formas:

1°.- Alimentación superior de agua de proceso. Parte del relleno se mantiene flotando y, por tanto, fuera del agua. Meses de Abril a Junio (Año 1994)

2°.- Alimentación inferior de agua de proceso. Parte del relleno se mantiene flotando, y por tanto, fuera del agua. Meses de Julio a Agosto (Año 1994).

3°.- Alimentación superior de agua de proceso. El relleno se mantiene sumergido, forzado por medio de un filtro en la parte superior del lecho. Mes de Septiembre (Año 1994).

4°.- Alimentación inferior de agua de proceso. El relleno se mantiene sumergido, forzado por medio de un filtro en la parte superior del lecho. Mes de Octubre (Año 1994).

Tabla 10.2.- Investigación de fondo. Relleno plástico. Fases del ensayo

FASE	RELLENO	ALIMENTACION AGUA PROCESO	PERIODO
1°	Flotando/sumergido	Superior	Abril-Junio
2°	Flotando/sumergido	Inferior	Julio-Agosto
3°	Sumergido	Superior	Septiembre
4°	Sumergido	Inferior	Octubre

10.4.2.- Puesta en marcha de las distintas fases

a) En el mes de Abril de 1994 se comenzó a trabajar con la planta piloto semitécnica. Se llenó de lentejas de plástico y se inició la primera fase de trabajo en la que las características del lecho se resumen en:

- soporte: lentejas de plástico
- altura de lecho 1,80 m
- alimentación de aire de proceso por la parte inferior del lecho
- alimentación de agua de proceso superior

Como consecuencia de esta flotabilidad se podían distinguir tres zonas bien diferenciadas en el lecho:

- Una *superior*, que se mantenía flotando, con una altura de unos 40 cm, que se supone trabaja como unos lechos bacterianos,
- Una *intermedia*, que se mantuvo sumergida, con una altura de lecho de 140 cm, que se supone trabaja como un filtro biológico y
- Una *inferior*, de unos 40 cm, sólo con agua que se supone trabaja como unos fangos activados.

Como se ha indicado se trabajó de nuevo con alimentación superior de agua de proceso y no existía una capa de relleno en estado anaerobio. De esta forma se estuvo trabajando durante los meses de Abril, Mayo y Junio.

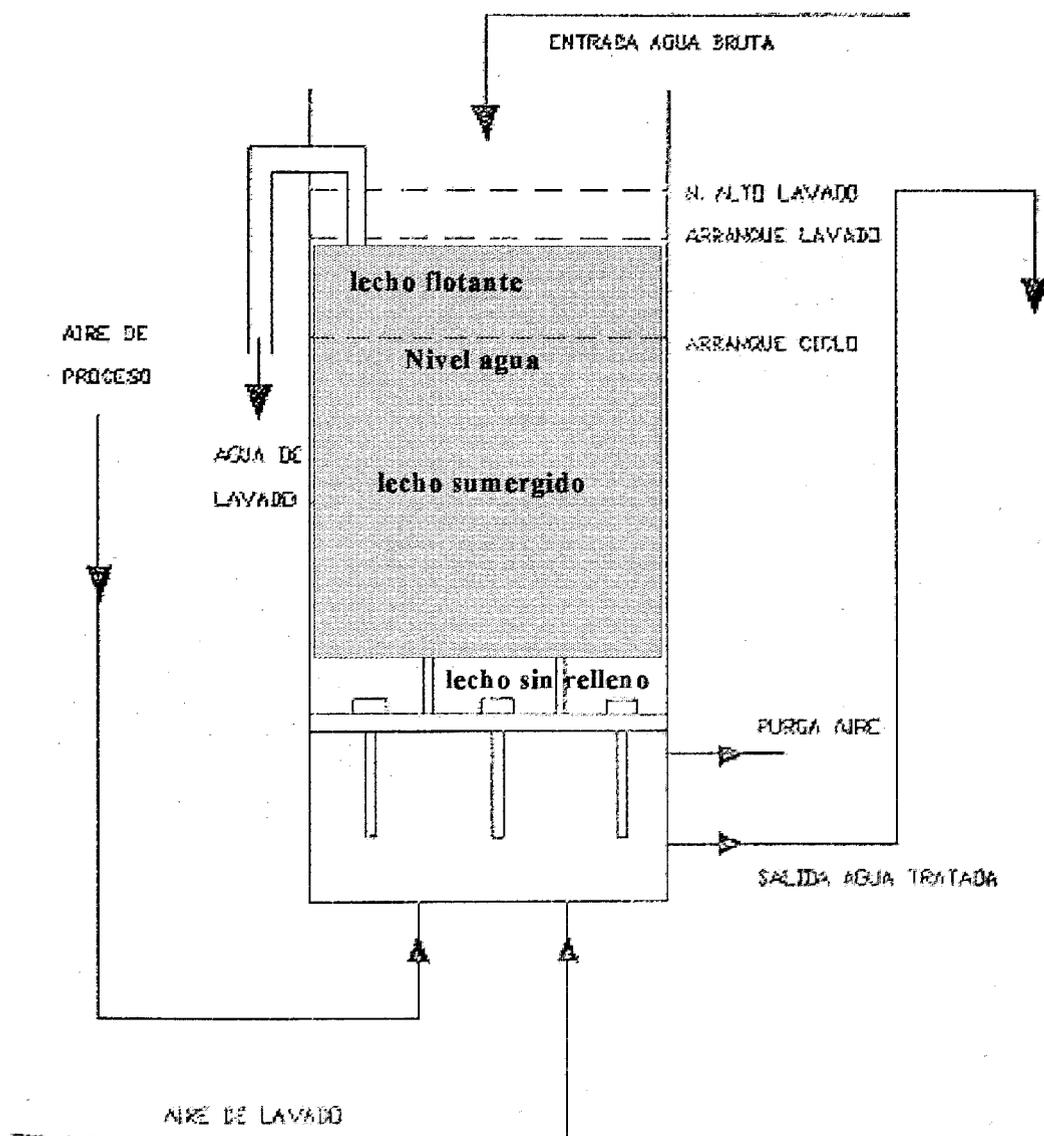
b) En el mes de Julio (1994) se comenzó a trabajar con la alimentación de agua de proceso por la parte inferior del lecho. En esta segunda fase de trabajo las características del lecho se resumen en:

- soporte: lentejas de plástico
- altura de lecho 1,80 m
- alimentación de aire de proceso por la parte inferior del lecho
- alimentación de agua de proceso inferior.

Como consecuencia de esta flotabilidad se volvían a distinguir las tres zonas bien diferenciadas en el lecho:

- Una *superior*, que se mantenía flotando, con una altura en este caso de unos 40 cm.
- Una *intermedia*, que permanecía sumergida, con una altura de lecho sumergida de 140 cm.

Figura 10.1.- Planta piloto. Relleno plástico. Alimentación superior de agua de proceso



- Una *inferior*, de unos 40 cm, sólo con agua,

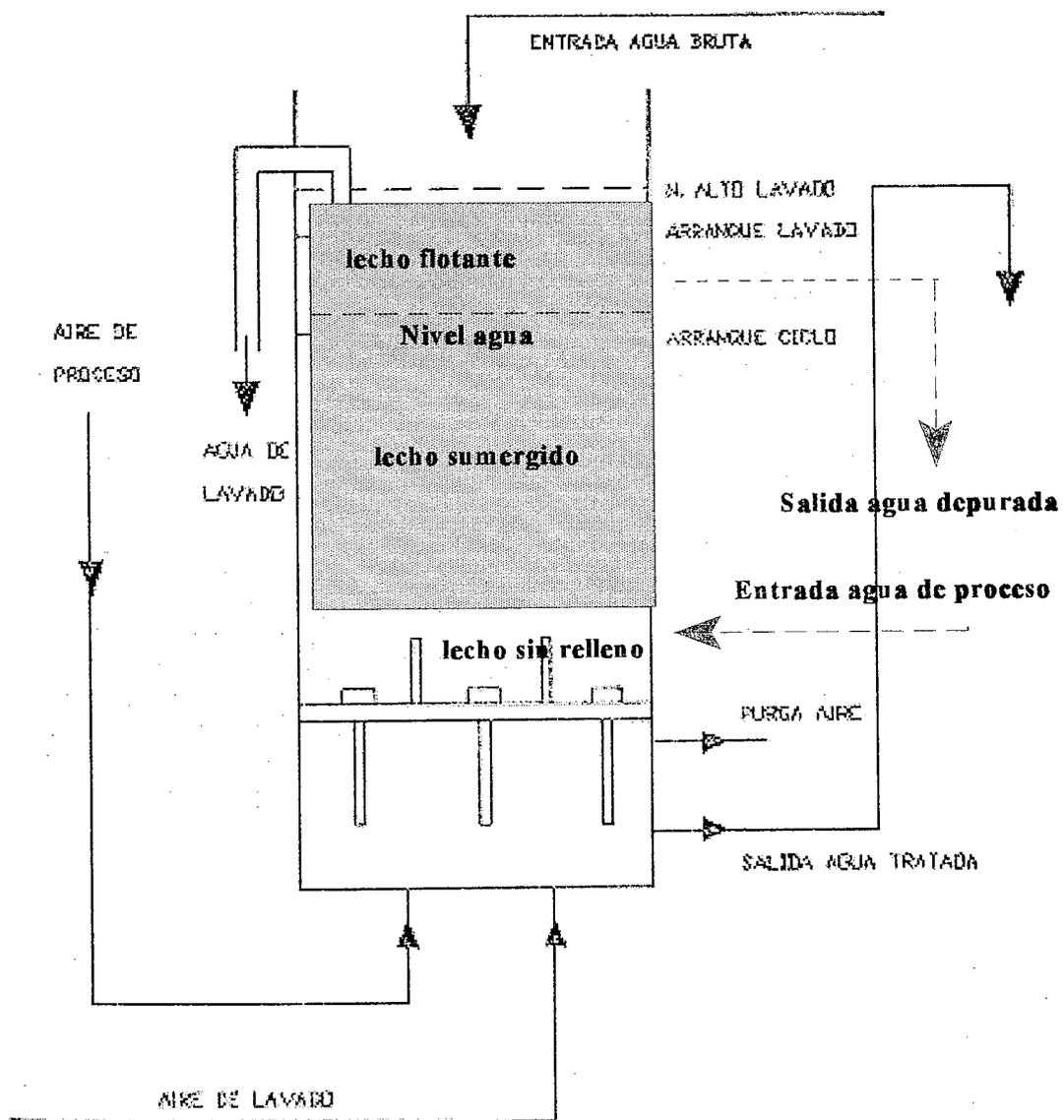
cada una con el funcionamiento antes expuesto.

Como se ha indicado se trabajó en este caso con alimentación inferior de agua de proceso y no existía una capa de relleno en estado anaerobio. De esta forma se estuvo trabajando durante los meses de Julio y Agosto.

c) En el mes de Septiembre (1994) se colocó en el lecho un dispositivo que mantenía el relleno sumergido. Como el empuje de la columna de relleno era muy fuerte se tuvo que reducir la altura de lecho con soporte plástico a 1 m. para evitar tensiones importantes que pudieran romper el dispositivo diseñado. En esta tercera fase de trabajo las características del lecho se resumen en:

- soporte: lentejas de plástico
- altura de relleno en el lecho 1 m
- alimentación de aire de proceso por la parte inferior del lecho
- alimentación de agua de proceso superior.

Figura 10.2.- Planta piloto. Relleno plástico. Alimentación inferior agua de proceso



Como consecuencia del dispositivo diseñado todo el lecho se mantenía sumergido, pero de forma que quedaban 80 cm bajo este lecho sin relleno alguno, sólo con agua ya que todo el relleno se desplazaba hacia arriba debido de nuevo a la flotabilidad del mismo.

Como se ha indicado se trabajó con un dispositivo que mantenía las lentejas sumergidas pero de nuevo existía bajo el una parte de lecho sólo con agua y todo el lecho quedaba aireado; no existía una capa de relleno en estado anaerobio. De esta forma se estuvo trabajando durante el mes de Septiembre.

d) En el mes de Octubre (1994) se cambió el sentido de circulación del agua en el lecho, introduciendo el agua de proceso por la parte inferior del mismo. Igual que en la fase anterior, se trabajó con todo el relleno sumergido, utilizando un dispositivo para ello que forzase a las lentejas a mantenerse de esta forma. Como el empuje de la columna de relleno era muy fuerte se tuvo que reducir la altura de lecho con soporte plástico a 1 m. para evitar tensiones importantes que pudieran romper el dispositivo diseñado. En esta cuarta fase de trabajo las características del lecho se resumen en:

- soporte: lentejas de plástico
- altura de relleno en el lecho 1 m
- alimentación de aire de proceso por la parte inferior del lecho
- alimentación de agua de proceso inferior.

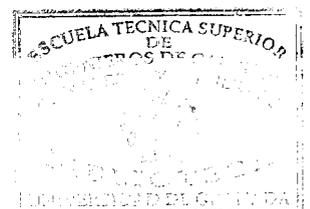
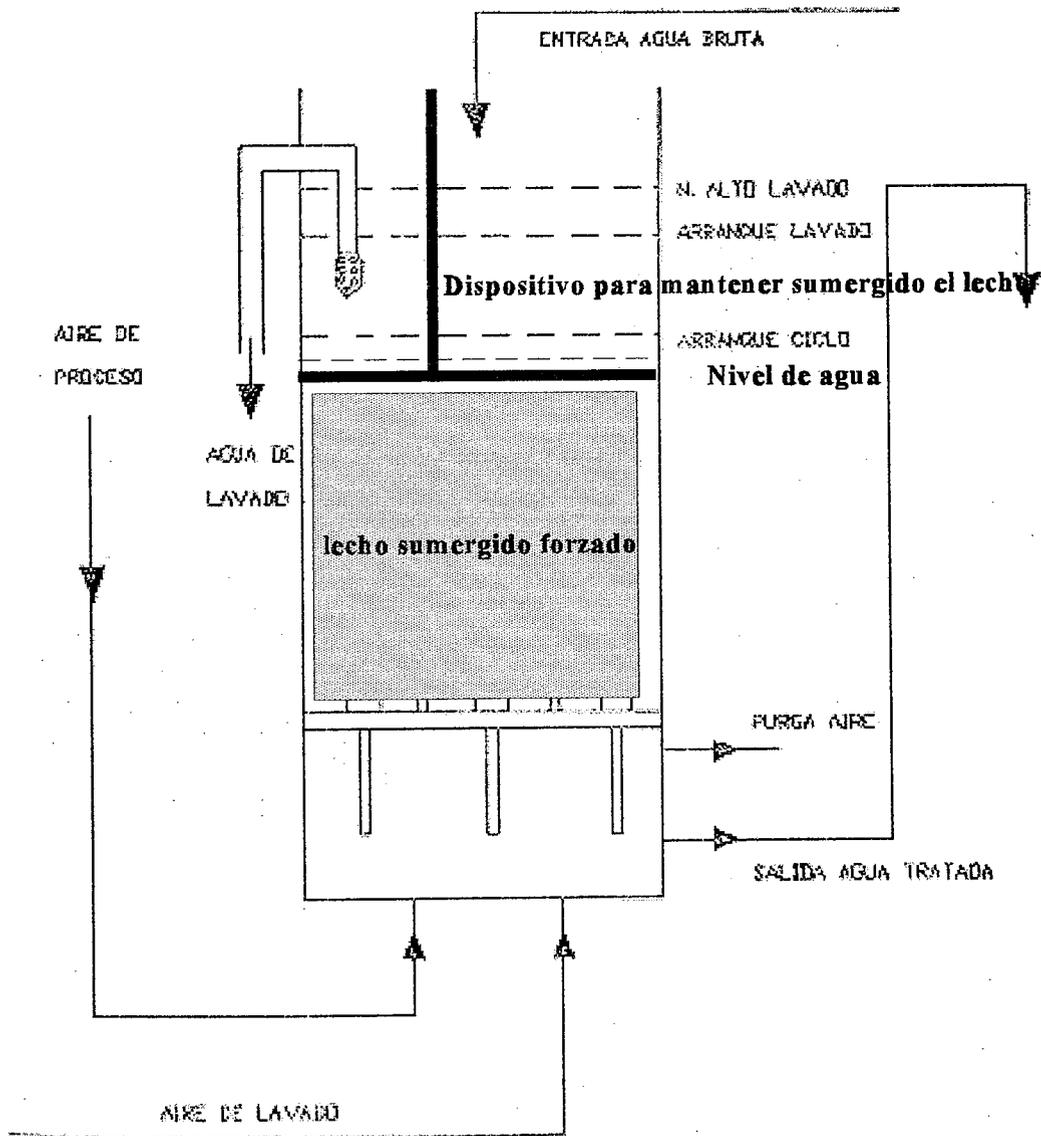


Figura 10.3.- Planta piloto. Relleno plástico sumergido y forzado. Alimentación superior de agua de proceso



Como consecuencia del dispositivo diseñado todo el lecho se mantenía sumergido, pero de forma que quedaban 80 cm bajo este lecho sin relleno alguno, sólo con agua ya que todo el relleno se desplazaba hacia arriba debido de nuevo a la flotabilidad del mismo.

Como se ha indicado se trabajó con un dispositivo que mantenía las lentejas sumergidas pero de nuevo existía bajo el una parte de lecho sólo con agua y todo el lecho quedaba aireado, no existía una capa de relleno en estado anaerobio.

De esta forma se estuvo trabajando durante el mes de Octubre.

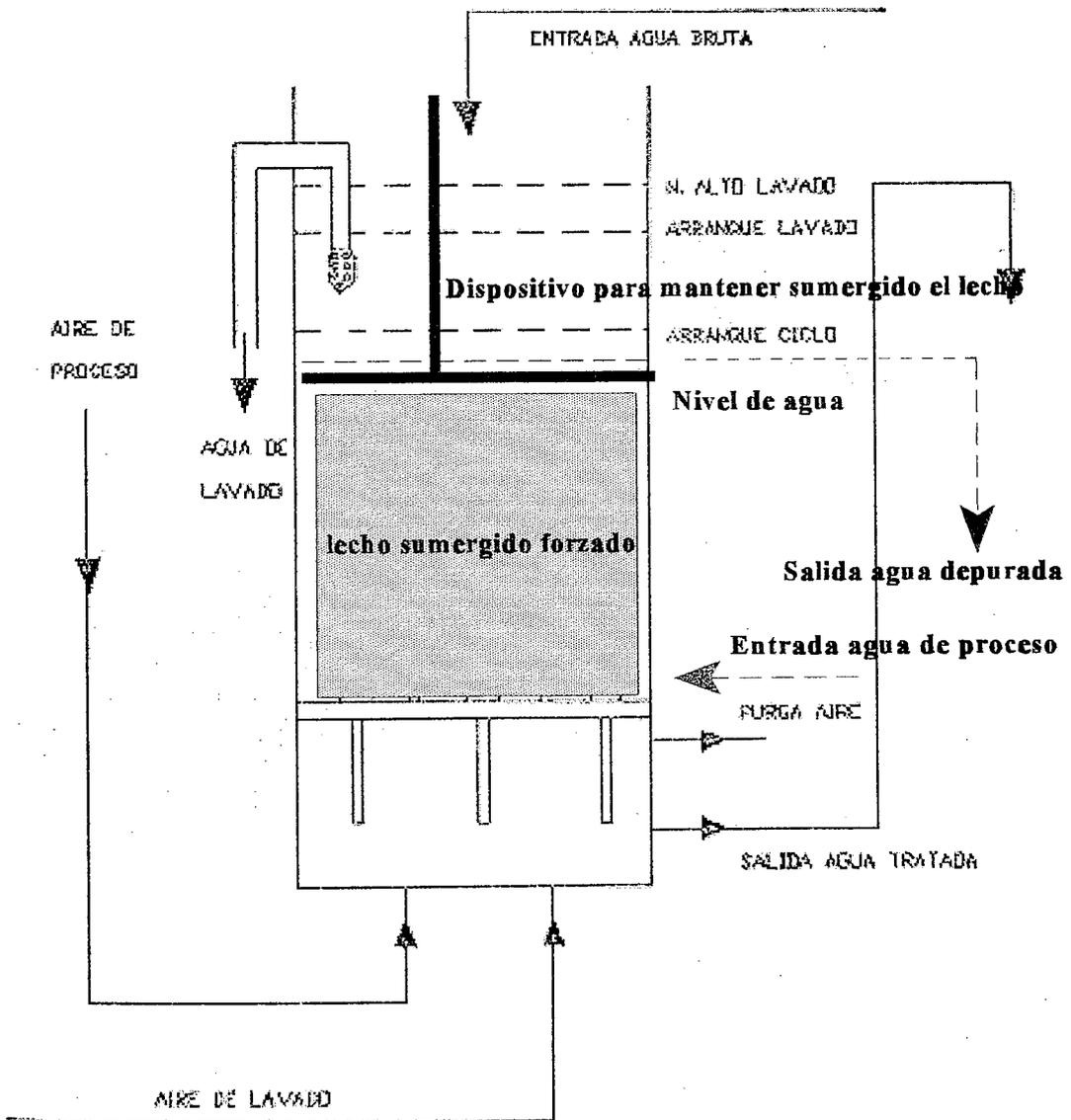
10.4.3.- Metodología para la toma de datos

a) 1ª fase: alimentación superior agua de proceso, parte del soporte flotando

Tras la investigación de choque se comprobó la necesidad de una decantación secundaria por lo que se tomaron las muestras a la salida del reactor biológico y se analizaron tras dejarlas una hora en decantación.

Se realizó la siguiente analítica a las muestras de entrada y salida a la planta piloto:

Figura 10.4.- Planta piloto. Relleno plástico sumergido y forzado. Alimentación de agua de proceso inferior



- pH
- DQO
- DBO₅
- SS

También se realizó una observación microscópica de la biopelícula.

Las pautas seguidas para la toma de muestras fueron:

- Toma de muestras automática
- Muestras integradas tomada cada tres horas
- Homogeneización de la muestra en el laboratorio
- Se deja decantar la muestra durante una hora y se procede a la analítica

b) 2ª fase: alimentación inferior agua de proceso, parte del soporte flotando

Una de las conclusiones previas obtenidas a partir de la investigación de choque, así como en base al barrido bibliográfico realizado, debido a la flotabilidad del lecho, existía la posibilidad de eliminar la decantación secundaria si se cambiaba el sentido de flujo en el lecho, es decir, si la alimentación de agua de proceso se realizaba por la parte inferior. Por lo tanto en esta fase desde el principio se tomaron las muestras justo a la salida del lecho, realizando la analítica sin dejar decantar la muestra.

Se realizó la siguiente analítica a las muestras de entrada y salida a la planta piloto:

- pH
- DQO
- DBO₅
- SS

También se realizó una observación microscópica de la biopelícula.

Las pautas seguidas para la toma de muestras fueron:

- Toma de muestras manual.
- Muestras integradas , procedentes de muestreos a las 8, 16 y 21 horas.

c) 3ª fase: alimentación superior agua de proceso, soporte forzado y sumergido

Tras la investigación de choque se comprobó la necesidad de una decantación secundaria con la alimentación superior de agua de proceso. Aunque al mantener sumergido todo el relleno las lentejas se mantenían más compactas, pudiendo hacer pensar en la posibilidad de que actuase como filtro no siendo por tanto necesaria la decantación secundaria, en la parte inferior existía una parte sólo con agua y que se supone funcionaba como unos fangos activos, por lo que si tomabamos las muestras de

la parte inferior se recogería fango que se mantenía en suspensión en esta parte. Se tomaron las muestras a la salida del reactor, analizándolas tras la decantación de una hora.

Se realizó la siguiente analítica a las muestras de entrada y salida a la planta piloto:

- pH
- DQO
- DBO₅
- SS

Las pautas seguidas para la toma de muestras fueron:

- Toma de muestras automática.
- Muestras integradas, procedentes de muestreos cada tres horas.
- Homogeneización en el laboratorio y analítica tras una hora de decantación.

d) 4ª fase: alimentación inferior agua de proceso, soporte sumergido forzado

Siguiendo el razonamiento anterior, y suponiendo que con el sentido de flujo ascendente existía la posibilidad de eliminar la decantación secundaria se tomaron las muestras justo a la salida del lecho, antes de pasar al tanque o decantador secundario.

Se realizó la siguiente analítica a las muestras de entrada y salida a la planta piloto:

- pH
- DQO
- DBO₅
- SS

Las pautas seguidas para la toma de muestras fueron:

- Toma de muestras manual.
- Muestras integradas, procedentes de tres muestreos a las 8, 16 y 21 horas.

10.4.4.- Analítica de las muestras

Las muestras tomadas diariamente en cada una de las fases se analizaron en las siguientes dependencias:

- Analítica rutinaria (pH, DBO₅, DQO y SS) en el **Laboratorio de la Depuradora Sur.**
- Observaciones microscópicas en el **Laboratorio de la Depuradora Oeste Los Vados.**

10.4.5.- Problemas que se presentaron

a) Problemas con los rellenos

Se volvieron a presentar problemas como consecuencia de las características del relleno, y que serán expuestas en el análisis de resultados y conclusiones definitivas, ya que hasta el momento no se han expuesto resultados analíticos y por tanto sería anticipar hechos.

b) Problemas mecánicos

1.- Se confirmaron los problemas que se suponían a la hora de hacer los lavados por la flotabilidad del relleno; no pudo utilizarse el sistema o automatismo de lavado del que disponía la planta piloto, ya que se producían arrastres del mismo.

2.- Problemas de alimentación de agua de proceso; se producían fallos en la alimentación del agua de proceso como consecuencia del descebe de la bomba. Esto se producía debido a que la línea que iba desde el decantador hasta la bomba que impulsaba el agua se quedaba vacía al producirse la entrada de algún elemento extraño en la tubería. En consecuencia se tuvo que proceder ya comenzada la investigación de fondo a modificar la toma de agua, colocándola en la parte inferior del decantador. A pesar de estas modificaciones se continuaron teniendo problemas con el agua de proceso ya que seguían produciéndose el vaciado de la tubería, aunque se consiguió mantener la bomba

funcionando de forma más continuada.

3.- Fallos en el funcionamiento del compresor que daba lugar a bruscos incrementos del caudal de aire y por tanto a modificaciones importantes en la metodología de trabajo establecida.

4.- Durante las dos últimas fases de trabajo, en las que se trabajó con el lecho forzado sumergido no se consiguió un funcionamiento correcto del mismo. Las lentejas se desplazaron hacia la parte superior del lecho, comprimiéndose con el dispositivo que las mantenía sumergidas. La aireación sólo afectaba a la parte inferior del soporte que estaba en una continúa y fuerte agitación, mientras que la parte superior permanecía sin aireación y fuertemente comprimida.

A) PRIMERA FASE: LECHO FLOTANTE Y ALIMENTACION SUPERIOR

10.4.6.- Resultados analíticos

En este apartado se van a recoger las siguientes tablas:

- Tabla nº 10.3.- Entrada de agua bruta. Meses de Abril a Junio de 1994
- Tabla nº 10.4.- Agua decantada. Meses de Abril a Junio de 1994
- Tabla nº 10.5.- Salida agua depurada (con decantación secundaria). Meses de Abril a

Junio 1994.

- Tabla nº 10.6.- Caudales agua de proceso y aire de proceso. Meses Abril a Junio 1994

- Tabla nº 10.7.- Observaciones meses Abril 1994

- Tabla nº 10.8.- Observaciones mes Mayo 1994

- Tabla nº 10.9.- Observaciones mes Junio 1994

- Tabla nº 10.10.- Rendimientos y carga orgánica de entrada ($\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$). Abril, Mayo y Junio 1994

- Tabla nº 10.11.- Rendimientos y carga hidráulica ($\text{m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{h}$). Abril, Mayo y Junio 1994

- Tabla nº 10.12.- Rendimientos y carga sólidos de entrada ($\text{kg SS}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$). Abril, Mayo y Junio 1994

- Tabla nº 10.13.- Rendimientos y caudal aire de proceso . Abril, Mayo y Junio 1994

- Tabla nº 10.14.- Rendimientos del proceso. Abril 1994

- Tabla nº 10.15.- Rendimientos del proceso. Mayo 1994

- Tabla nº 10.16.- Rendimientos del proceso. Junio 1994

Los días sombreados con color azul corresponden a la puesta en marcha de la depuradora, los sombreados en color amarillo corresponden a un desprendimiento espontáneo de la biopelícula, mientras que los sombreados en color rojo corresponden a un desprendimiento de la biopelícula como consecuencia de un fallo en el funcionamiento del compresor.

Tabla n° 10.3.- Relleno plástico. 1ª fase. Datos agua de entrada de agua bruta. Meses de Abril a Junio 1994. DBO, DQO y SS en mg/l. pH

Día	Abril				Mayo				Junio			
	pH	DBO	DQO	SS	pH	DBO	DQO	SS	pH	DBO	DQO	SS
1	7,3	185	500	246	7,3	220	660	222	7,3	215	646	252
2	7,2	250	685	214	7,5	215	655	214	7,5	205	616	238
3	7,2	350	724	226	7,5	210	625	185	7,4	200	617	245
4	7,5	235	563	220	7,7	190	566	180	7,3	260	830	276
5	7,4	235	640	252	7,8	220	658	184	7,2	230	782	220
6	7,6	200	791	306	7,6	320	577	184	7	250	662	230
7	7,7	320	756	308	7,3	240	531	166	7,3	215	646	255
8	7,5	380	729	258	7,3	230	632	212	7,4	200	636	273
9	7,4	220	602	212	7,4	140	648	176	7,4	200	591	218
10	7,4	340	680	218	7,4	320	600	190	7,6	150	689	174
11	7,3	220	600	216	7,6	270	590	270	7,5	130	627	130
12	7,4	250	678	196	7,5	270	519	230	7,4	160	404	148
13	7,3	240	640	235	7,5	250	644	182	7,6	250	676	256
14	7,5	230	623	206	7,6	320	850	286	7,6	235	700	251
15	7,7	230	589	192	7,7	210	570	190	7,7	180	537	231
16	7,8	205	501	268	7,5	270	818	280	7,8	390	616	184
17	7,7	170	547	186	7,6	330	611	194	7,7	270	535	184
18	7,6	210	571	168	7,6	220	612	229	7,6	220	613	316
19	7,5	210	506	206	7,8	230	600	274	7,4	300	574	162
20	7,4	90	607	234	7,8	330	730	320	7,6	200	639	188
21	7,5	200	610	230	7,8	260	779	318	7,7	235	710	260
22	7,7	195	523	240	7,5	245	730	281	7,5	230	694	286
23	7,4	230	620	195	7,5	240	720	279	7,4	310	499	182
24	7,7	225	610	180	7,6	240	718	303	7,4	330	602	200
25	7,5	215	578	240	7,4	235	698	277	7,3	280	662	182
26	7,4	200	510	255	7,5	240	718	251	7,4	180	545	214
27	7,6	230	600	285	6,9	235	701	318	7,5	220	658	232
28	7,7	230	620	241	7	230	694	259	7,7	215	650	234
29	7,8	235	630	212	7,5	235	703	148	7,8	215	653	261
30	7,6	250	650	304	7,4	250	686	244	7,6	250	687	235
31					7,3	230	605	250				

Tabla n° 10.4.- Relleno plástico. 1ª fase. Datos agua decantada. Meses de Abril a Junio 1994. DBO, DQO y SS en mg/l. pH

Día	Abril				Mayo				Junio			
	pH	DBO	DQO	SS	pH	DBO	DQO	SS	pH	DBO	DQO	SS
1	7,6	120	294	82	7,3	140	306	60	7,2	170	340	72
2	7,7	150	336	68	7,4	130	290	58	7	160	324	68
3	7,5	120	294	60	7,4	110	250	50	7,1	165	325	70
4	7,3	140	336	80	7,2	95	232	44	7,3	100	338	54
5	7,6	130	310	84	7,1	70	198	48	7,3	200	384	64
6	7,5	160	487	94	7	120	271	54	7,2	190	320	64
7	7,5	120	391	88	7	130	273	60	7	170	340	73
8	7,5	150	391	72	7,2	140	276	56	7,3	170	335	78
9	7,6	170	455	106	7,3	125	283	57	7,2	150	333	60
10	7,6	100	450	102	7,3	130	294	59	7,1	100	469	56
11	7,5	110	409	96	7,4	110	239	44	7,1	120	359	60
12	7,6	105	404	102	7,2	70	333	110	7,2	165	331	67
13	7,7	110	410	102	7,2	100	269	56	7,2	160	322	82
14	7,7	110	349	54	7	100	237	42	7	275	556	72
15	7,3	170	347	70	7,3	70	310	73	7	140	283	63
16	7	120	295	80	7,2	180	400	80	7	70	324	54
17	7	130	315	66	7,2	300	667	100	6,9	200	385	94
18	7,4	130	239	48	7,1	140	306	62	7,2	120	267	62
19	7,3	190	239	48	7,1	180	400	82	7,3	130	250	65
20	7,2	120	370	62	7,3	165	374	82	7,4	130	262	44
21	7,4	130	308	52	7,4	140	310	58	7,4	260	524	74
22	7,3	120	295	50	7,4	155	345	76	7,3	250	510	85
23	7,2	150	340	65	7,3	170	378	76	7,2	230	458	79
24	7,1	115	295	60	7,3	235	519	82	7,2	150	301	62
25	7,3	135	340	80	7,2	175	379	75	7,1	130	327	68
26	7,2	130	300	85	7,4	155	350	68	7,1	170	331	72
27	7,3	160	420	95	7,3	110	418	86	7	190	386	70
28	7,4	110	389	80	7	70	360	70	7,1	195	389	68
29	7	150	389	70	7,1	200	322	40	7,1	225	450	74
30	7	170	400	102	7	150	330	66	7	260	513	66
31	-	-	-	-	7	160	350	70	-	-	-	-

Tabla n° 10.5.- Relleno plástico. 1ª fase. Datos agua depurada (con decantación secundaria). Meses de Abril a Junio 1994. DBO, DQO y SS en mg/l. pH

Día	Abril				Mayo				Junio			
	pH	DBO	DQO	SS	pH	DBO	DQO	SS	pH	DBO	DQO	SS
1	7,6	90	228	57	7,6	100	226	39	7,6	155	314	64
2	7,5	120	274	51	7,7	95	219	39	7,7	115	243	44
3	7,6	95	240	46	7,7	35	97	9	7,6	105	221	39
4	7,7	115	281	63	7,5	25	76	5	7,8	50	188	22
5	7,7	120	290	75	7,4	15	61	3	7,7	150	299	45
6	7,6	150	413	88	7,3	40	109	10	7,7	135	238	42
7	7,3	110	361	80	7,3	60	143	20	7,4	120	251	47
8	7,6	140	368	65	7,5	55	125	16	7,6	115	235	48
9	7,6	135	372	80	7,4	50	132	15	7,5	135	301	53
10	7,7	70	329	65	7,5	85	203	34	7,5	80	384	43
11	7,5	65	259	50	7,7	40	100	9	7,5	65	212	26
12	7,4	65	264	55	7,6	20	121	16	7,4	120	252	44
13	7,5	65	258	52	7,5	30	100	9	7,6	105	222	48
14	7,5	60	204	26	7,6	30	85	7	7,3	260	528	65
15	7,6	140	291	55	7,6	25	129	17	7,4	120	252	49
16	7,7	65	174	35	7,4	90	218	32	7,4	35	175	22
17	7,5	60	160	23	7,4	190	445	56	7,3	160	312	76
18	7,5	55	114	16	7,3	65	156	22	7,6	75	177	36
19	7,6	95	131	19	7,6	145	329	63	7,7	95	189	44
20	7,7	45	162	16	7,7	115	271	52	7,8	95	200	36
21	7,8	50	138	14	7,7	60	149	18	7,7	235	477	65
22	7,6	55	153	29	7,8	60	151	19	7,6	220	453	76
23	7,5	90	219	34	7,6	80	199	28	7,6	195	394	65
24	7,4	60	169	26	7,5	130	312	38	7,6	120	246	47
25	7,4	115	294	66	7,6	85	206	30	7,3	100	258	49
26	7,3	85	208	50	7,5	70	178	23	7,3	135	269	55
27	7,6	90	254	46	7,3	30	145	11	7,5	155	322	57
28	7,5	60	230	36	7,4	10	83	7	7,4	155	319	51
29	7,2	80	224	31	7,3	100	176	16	7,4	220	440	72
30	7,3	105	261	54	7,4	70	181	24	7,3	235	467	58
31	-	-	-	-	7,4	50	135	15	-	-	-	-

Tabla n° 10.6.- Relleno plástico 1ª fase. Caudales de agua de proceso (l/h) y aire de proceso (l/h). Meses Abril a Junio 1994.

Dia	Caudal agua (l/h)			Caudal de aire (l/h)		
	Abril	Mayo	Junio	Abril	Mayo	Junio
1	100	40	70	60	30	10
2	100	40	70	60	30	10
3	100	40	70	60	30	30
4	100	40	70	60	30	30
5	120	40	70	60	30	30
6	120	40	70	60	20	30
7	120	40	70	60	20	30
8	120	40	70	60	20	30
9	120	40	50	60	20	30
10	90	40	50	20	20	30
11	90	40	50	20	20	30
12	90	40	50	20	20	30
13	90	40	50	20	20	30
14	90	40	50	20	20	30
15	40	40	50	20	20	30
16	40	30	80	20	20	30
17	40	30	80	20	20	30
18	40	30	80	20	20	30
19	40	30	80	20	20	30
20	40	30	80	20	20	50
21	40	30	80	20	20	50
22	60	30	80	20	20	50
23	60	30	80	20	10	30
24	60	30	90	30	10	30
25	60	30	90	30	10	30
26	60	30	90	30	10	30
27	60	30	90	30	10	30
28	60	30	90	30	10	30
29	60	30	90	30	10	30
30	60	30	90	30	10	30
31		30			10	

Tabla n° 10.7.- Relleno plástico. 1ª fase. Observaciones mes de Abril 1994.

Día	Abril
1	
2	
3	Puesta en marcha de la planta piloto semitécnica con relleno plástico. Problemas para ajustar el compresor. Se producían incrementos importantes en el caudal de aire y por tanto importantes desprendimientos de la biopelícula.
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	Desprendimiento espontáneo de la biopelícula. Purga de los fangos recogidos en el fondo del reactor
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	Desprendimiento espontáneo de la biopelícula. Purga de los fangos recogidos en el fondo del reactor
26	
27	
28	
29	
30	

Tabla nº 10.8.- Relleno plástico. 1ª fase. Observaciones mes de Mayo 1994.

Día	Mayo
1	Desprendimiento espontáneo de la biopelícula. Fallo en compresor
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	Desprendimiento espontáneo de la biopelícula. Purga de fangos
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	Desprendimiento espontáneo de la biopelícula. Purga de fangos
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	

Tabla nº 10.9.- Relleno plástico 1ª fase. Observaciones mes de Junio 1994.

Día	Junio
1	Desprendimiento espontáneo de la biopelícula
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	Desprendimiento de la biopelícula. Purga de fangos
10	
11	
12	
13	
14	Desprendimiento de la biopelícula. Fallo del compresor
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	Se incrementa el caudal de aire hasta 50 l/h. Importantes pérdidas de biopelícula.
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	Desprendimiento de la biopelícula
30	

Tabla n° 10.10.- Relleno plástico. 1ª fase. Rendimientos y carga orgánica (kg/m³.d).
Meses Abril a Junio 1994

Día	Abril				Mayo				Junio			
	Carga	DBO	DQO	SS	Carga	DBO	DQO	SS	Carga	DBO	DQO	SS
1	2,26	25	26	30	25	22	26	35	2,24	9	8	11
2	2,83	20	18	25	0,98	27	24	33	2,11	28	25	35
3	2,26	21	18	23	0,83	68	61	82	2,18	36	32	44
4	2,64	18	16	21	0,72	74	67	89	1,32	50	44	59
5	2,94	8	6	11	0,53	79	69	94	2,64	25	22	30
6	3,62	6	5	6	0,91	67	60	81	2,51	29	26	34
7	2,72	8	8	9	0,98	54	48	67	2,24	29	26	36
8	3,40	7	6	10	1,06	61	55	71	2,24	32	30	38
9	3,85	21	18	25	0,94	60	53	73	1,41	10	10	12
10	1,70	30	27	36	0,98	35	31	42	0,94	20	18	23
11	1,87	41	37	48	0,83	64	58	80	1,13	46	41	57
12	1,78	38	35	46	0,53	71	64	85	1,56	27	24	34
13	1,87	41	37	49	0,75	70	63	84	1,51	34	31	41
14	1,87	45	42	52	0,75	70	64	83	2,59	5	5	10
15	1,28	18	16	21	0,53	64	58	77	1,32	14	11	22
16	0,91	46	41	56	1,02	50	46	60	1,06	50	46	59
17	0,98	54	49	65	1,70	37	33	44	3,02	20	19	19
18	0,98	58	52	67	0,79	54	49	65	1,81	38	34	42
19	1,43	50	45	60	1,02	19	18	23	1,96	27	24	32
20	0,91	63	56	74	0,93	30	28	37	1,96	27	24	18
21	0,98	62	55	73	0,79	57	52	69	3,92	10	9	12
22	1,36	54	48	64	0,88	61	56	75	3,77	12	11	11
23	1,70	40	36	48	0,96	53	47	63	3,47	15	14	18
24	1,30	48	43	57	1,33	45	40	54	2,55	20	18	24
25	1,53	15	14	18	0,99	51	46	60	2,21	23	21	28
26	1,47	35	31	41	0,88	55	49	66	2,89	21	19	24
27	1,81	44	40	52	0,62	73	65	87	3,23	18	17	19
28	1,24	45	41	55	0,40	86	77	90	3,30	20	18	25
29	1,70	47	42	56	1,13	50	45	60	3,82	2	2	3
30	1,92	38	35	47	0,85	53	45	64	4,41	10	9	12
31	-	-	-	-	0,91	69	61	60	-	-	-	-

Tabla n° 10.11.- Relleno plástico. 1ª fase. Rendimientos y carga hidráulica (m³/m².d). Meses Abril a Junio 1994

Día	Abril				Mayo				Junio			
	Carga	DBO	DQO	SS	Carga	DBO	DQO	SS	Carga	DBO	DQO	SS
1	1,41	25	22	30	0,57	29	26	35	0,99	9	8	11
2	1,41	20	18	25	0,57	27	24	33	0,99	28	25	35
3	1,41	21	18	23	0,57	68	61	82	0,99	36	32	44
4	1,41	18	16	21	0,57	74	67	89	0,99	50	44	59
5	1,70	8	6	11	0,57	79	69	94	0,99	25	22	30
6	1,70	6	5	6	0,57	67	60	81	0,99	29	26	34
7	1,70	8	8	9	0,57	54	48	67	0,99	29	26	36
8	1,70	7	6	10	0,57	61	55	71	0,99	32	30	38
9	1,70	21	18	25	0,57	60	53	73	0,71	10	10	12
10	1,27	30	27	36	0,57	35	31	42	0,71	20	18	23
11	1,27	41	37	48	0,57	64	58	80	0,71	46	41	57
12	1,27	38	35	46	0,57	71	64	85	0,71	27	24	34
13	1,27	41	37	49	0,57	70	63	84	0,71	34	31	41
14	1,27	45	42	52	0,57	70	64	83	0,71	5	5	10
15	0,57	18	16	21	0,57	64	58	77	0,71	14	11	22
16	0,57	46	41	56	0,42	50	46	60	1,13	50	46	59
17	0,57	54	49	65	0,42	37	33	44	1,13	20	19	19
18	0,57	58	52	67	0,42	54	49	65	1,13	38	34	42
19	0,57	50	45	60	0,42	19	18	23	1,13	27	24	32
20	0,57	63	56	74	0,42	30	28	37	1,13	27	24	18
21	0,57	62	55	73	0,42	57	52	69	1,13	10	9	12
22	0,85	54	48	64	0,42	61	56	75	1,13	12	11	11
23	0,85	40	36	48	0,42	53	47	63	1,27	15	14	18
24	0,85	48	43	57	0,42	45	40	54	1,27	20	18	24
25	0,85	15	14	18	0,42	51	46	60	1,27	23	21	28
26	0,85	35	31	41	0,42	55	49	66	1,27	21	19	24
27	0,85	44	40	52	0,42	73	65	87	1,27	18	17	19
28	0,85	45	41	55	0,42	86	77	90	1,27	20	18	25
29	0,85	47	42	56	0,42	50	45	60	1,27	2	2	3
30	0,85	38	35	47	0,42	53	45	64	1,27	10	9	12
31	-	-	-	-	0,42	69	61	79	-	-	-	-

Tabla nº 10.12.- Relleno plástico. 1ª fase. Rendimientos y carga de SS (kg SS/m³.d).
Meses Abril a Junio 1994

Dia	Abril				Mayo				Junio			
	Carga	DBO	DQO	SS	Carga	DBO	DQO	SS	Carga	DBO	DQO	SS
1	1,55	25	22	30	0,45	29	26	35	0,99	9	8	11
2	1,28	20	18	25	0,44	27	24	33	0,95	28	25	35
3	1,13	21	18	23	0,38	68	61	82	0,90	36	32	44
4	1,51	18	16	21	0,33	74	67	89	0,92	50	44	59
5	1,90	8	6	11	0,36	79	69	94	0,71	25	22	30
6	2,13	6	5	6	0,41	67	60	81	0,85	29	26	34
7	1,99	8	8	9	0,45	54	48	67	0,85	29	26	36
8	1,63	7	6	10	0,42	61	55	71	0,96	32	30	38
9	2,40	21	18	25	0,43	60	53	73	1,03	10	10	12
10	1,73	30	27	36	0,45	35	31	42	0,57	20	18	23
11	1,63	41	37	48	0,33	64	58	80	0,53	46	41	57
12	1,73	38	35	46	0,83	71	64	85	0,57	27	24	34
13	1,73	41	37	49	0,42	70	63	84	0,63	34	31	41
14	0,92	45	42	52	0,32	70	64	83	0,77	5	5	10
15	0,53	18	16	21	0,55	64	58	77	0,68	14	11	22
16	0,60	46	41	56	0,45	50	46	60	0,59	50	46	59
17	0,50	54	49	65	0,57	37	33	44	0,81	20	19	19
18	0,36	58	52	67	0,35	54	49	65	1,42	38	34	42
19	0,36	50	45	60	0,46	19	18	23	0,94	27	24	32
20	0,47	63	56	74	0,46	30	28	37	0,98	27	24	18
21	0,39	62	55	73	0,33	57	52	69	0,66	10	9	12
22	0,91	54	48	64	0,43	61	56	75	1,12	12	11	11
23	0,74	40	36	48	0,43	53	47	63	1,28	15	14	18
24	0,68	48	43	57	0,46	45	40	54	1,19	20	18	24
25	0,91	15	14	18	0,42	51	46	60	1,05	23	21	28
26	0,96	35	31	41	0,38	55	49	66	1,15	21	19	24
27	1,08	44	40	52	0,49	73	65	87	1,22	18	17	19
28	0,91	45	41	55	0,40	86	77	90	1,19	20	18	25
29	0,79	47	42	56	0,23	50	45	60	1,15	2	2	3
30	1,15	38	35	47	0,37	53	45	64	1,26	10	9	12
31	-	-	-	-	0,40	69	61	79	1,12	-	-	-

Tabla nº 10.13.- Relleno plástico. 1ª fase. Rendimientos y caudal aire de proceso (l/h). Meses Abril a Junio 1994

Dia	Abril				Mayo				Junio			
	Caudal	DBO	DQO	SS	Caudal	DBO	DQO	SS	Caudal	DBO	DQO	SS
1	60	25	22	30	30	29	26	35	10	9	8	11
2	60	20	18	25	30	27	24	33	10	28	25	35
3	60	21	18	23	30	68	61	82	30	36	32	44
4	60	18	16	21	30	74	67	89	30	50	44	59
5	60	8	6	11	30	79	69	94	30	25	22	30
6	60	6	5	6	20	67	60	81	30	29	26	34
7	60	8	8	9	20	54	48	67	30	29	26	36
8	60	7	6	10	20	61	55	71	30	32	30	38
9	60	21	18	25	20	60	53	73	30	10	10	12
10	20	30	27	36	20	35	31	42	30	20	18	23
11	20	41	37	48	20	64	58	80	30	46	41	57
12	20	38	35	46	20	71	64	85	30	27	24	34
13	20	41	37	49	20	70	63	84	30	34	31	41
14	20	45	42	52	20	70	64	83	30	5	5	10
15	20	18	16	21	20	64	58	77	30	14	11	22
16	20	46	41	56	20	50	46	60	30	50	46	59
17	20	54	49	65	20	37	33	44	50	20	19	19
18	20	58	52	67	20	54	49	65	50	38	34	42
19	20	50	45	60	20	19	18	23	50	27	24	32
20	20	63	56	74	20	30	28	37	30	27	24	18
21	20	62	55	73	20	57	52	69	30	10	9	12
22	20	54	48	64	20	61	56	75	30	12	11	11
23	20	40	36	48	10	53	47	63	30	15	14	18
24	30	48	43	57	10	45	40	54	30	20	18	24
25	30	15	14	18	10	51	46	60	30	23	21	28
26	30	35	31	41	10	55	49	66	30	21	19	24
27	30	44	40	52	10	73	65	87	30	18	17	19
28	30	45	41	55	10	86	77	90	30	20	18	25
29	30	47	42	56	10	50	45	60	30	2	2	3
30	30	38	35	47	10	53	45	64	30	10	12	9
31	-	-	-	-	10	69	79	61	-	-	-	-

Tabla n° 10.14.- Relleno plástico. 1ª fase. Resumen de rendimientos en todo el proceso. Mes Abril 1994.

	Decantación primaria			Tratamiento biológico			Total		
	DBO	DQO	SS	DBO	DQO	SS	DBO	DQO	SS
1	35	41	67	25	22	30	51	54	77
2	40	51	68	20	18	25	52	60	76
3	66	59	73	21	18	23	73	67	80
4	40	40	64	18	16	21	51	50	71
5	45	52	67	8	6	11	49	55	70
6	20	45	69	6	5	6	25	48	71
7	63	48	71	8	8	9	66	52	74
8	61	46	72	7	6	10	63	50	75
9	23	24	50	21	18	25	39	38	62
10	71	34	53	30	27	36	79	52	70
11	50	32	56	41	37	48	70	57	77
12	58	40	48	38	35	46	74	61	72
13	54	36	57	41	37	49	73	60	78
14	52	44	74	45	42	52	74	67	87
15	26	41	64	18	16	21	39	51	71
16	41	41	70	46	41	56	68	65	87
17	24	42	65	54	49	65	65	71	88
18	38	58	71	58	52	67	74	80	90
19	27	53	77	50	45	60	63	74	91
20	37	39	74	63	56	74	76	73	93
21	35	50	77	62	55	73	75	77	94
22	38	44	67	54	48	64	72	71	88
23	35	45	67	40	36	48	61	65	83
24	49	52	67	48	43	57	73	72	86
25	37	41	67	15	14	18	47	49	73
26	35	41	67	35	31	41	58	59	80
27	30	30	67	44	40	52	61	58	84
28	52	37	67	45	41	55	74	63	85
29	36	38	67	47	42	56	66	64	85
30	32	38	66	38	35	47	58	60	82

Tabla nº 10.15.- Relleno plástico. 1ª fase. Resumen de rendimientos en todo el proceso. Mes Mayo 1994.

Día	Decantación primaria			Tratamiento biológico			Total		
	DBO	DQO	SS	DBO	DQO	SS	DBO	DQO	SS
1	36	54	73	29	26	35	55	66	82
2	40	56	73	27	24	33	56	67	82
3	48	60	73	68	61	82	83	84	95
4	50	59	76	74	67	89	87	87	97
5	68	70	74	79	69	94	93	91	98
6	63	53	71	67	60	81	88	81	95
7	46	49	64	54	48	67	75	73	88
8	39	56	74	61	55	71	76	80	92
9	46	56	68	60	53	73	78	80	91
10	59	51	69	35	31	42	73	66	82
11	59	59	84	64	58	80	85	83	97
12	74	36	52	71	64	85	93	77	93
13	60	58	69	70	63	84	88	84	95
14	69	72	85	70	64	83	91	90	98
15	67	46	62	64	58	77	88	77	91
16	33	51	71	50	46	60	67	73	89
17	19	22	48	37	33	44	49	48	71
18	36	50	73	54	49	65	70	75	90
19	22	33	70	19	18	23	37	45	77
20	50	49	74	30	28	37	65	63	84
21	46	60	82	57	52	69	77	81	94
22	37	53	73	61	56	75	76	79	93
23	29	48	73	53	47	63	67	72	90
24	22	28	73	45	40	54	57	57	87
25	26	46	73	51	46	60	64	70	89
26	35	51	73	55	49	66	71	75	91
27	53	40	73	73	65	87	87	79	97
28	77	48	73	86	77	90	97	88	97
29	34	54	73	50	45	60	67	75	89
30	35	52	73	53	45	64	70	74	90
31	30	50	73	69	61	79	78	81	94

Tabla nº 10.16.- Relleno plástico. 1ª fase. Resumen de rendimientos en todo el proceso. Mes Junio 1994.

Día	Decantación primaria			Tratamiento biológico			Total		
	DBO	DQO	SS	DBO	DQO	SS	DBO	DQO	SS
1	21	47	71	9	8	11	28	51	75
2	22	47	71	28	25	35	44	61	82
3	18	47	71	36	32	44	48	64	84
4	62	59	80	50	44	59	81	77	92
5	35	51	71	25	22	30	52	62	80
6	24	51	72	29	26	34	46	64	82
7	21	47	71	29	26	36	44	61	82
8	32	47	71	32	30	38	54	63	82
9	25	44	72	10	10	12	33	49	76
10	33	32	68	20	18	23	47	44	75
11	40	43	54	46	41	57	68	66	80
12	38	18	55	27	24	34	55	38	70
13	36	52	68	34	31	41	58	67	81
14	21	21	71	5	5	10	26	25	74
15	22	47	73	14	11	22	33	53	79
16	79	47	71	50	46	59	90	72	88
17	26	28	49	20	19	19	41	42	59
18	45	56	80	38	34	42	66	71	89
19	57	56	60	27	24	31	68	67	73
20	35	59	77	27	24	18	53	69	81
21	29	26	72	10	9	12	36	33	75
22	28	27	70	12	11	11	36	35	73
23	26	8	57	15	14	18	37	21	64
24	55	50	69	20	18	24	64	59	77
25	54	51	63	23	21	28	64	61	73
26	32	39	66	21	19	24	46	51	74
27	43	41	70	18	17	19	54	51	75
28	41	40	71	20	18	25	53	51	78
29	38	31	72	2	2	3	39	33	72
30	25	25	72	10	9	12	32	32	75

Las observaciones microscópicas de la biopelícula muestra que se trata de un fango bien colonizado en el que predominan los protozoos.

10.4.7.- Estudio sistemático de resultados

A partir de los datos recogidos en las tablas anteriores, para una mejor visualización y conclusión de los mismos, se han realizado un conjunto de gráficos en los que se recogen tanto los resultados obtenidos, como las relaciones encontradas con los parámetros y variables establecidos previamente para esta investigación. Todo esto se expone en los siguientes apartados. Todos estos gráficos se adjuntan en el Anejo nº 4: *Gráficos. Investigación de fondo.*

10.4.7.1.- Rendimientos obtenidos

Los rendimientos obtenidos DBO, DQO y SS durante los meses de Abril, Mayo y Junio se han recogido en los siguientes gráficos:

- Gráfico nº 10.1.- Investigación de fondo. Relleno plástico. 1ª fase. Mes Abril 1994.

Rendimientos DQO.

- Gráfico nº 10.2.- Investigación de fondo. Relleno plástico. 1ª fase. Mes Abril 1994.

Rendimientos DBO₅.

- Gráfico nº 10.3.- Investigación de fondo. Relleno plástico. 1ª fase. Mes Abril 1994.

Rendimientos SS.

- Gráfico nº 10.4.- Investigación de fondo. Relleno plástico. 1ª fase. Mes Mayo 1994.

Rendimientos DQO.

- Gráfico nº 10.5.- Investigación de fondo. Relleno plástico. 1ª fase. Mes Mayo 1994.

Rendimientos DBO₅.

- Gráfico nº 10.6.- Investigación de fondo. Relleno plástico. 1ª fase. Mes Mayo 1994.

Rendimientos SS.

- Gráfico nº 10.7.- Investigación de fondo. Relleno plástico. 1ª fase. Mes Junio 1994.

Rendimientos DQO.

- Gráfico nº 10.8.- Investigación de fondo. Relleno plástico. 1ª fase. Mes Junio 1994.

Rendimientos DBO₅.

- Gráfico nº 10.9.- Investigación de fondo. Relleno plástico. 1ª fase. Mes Junio 1994.

Rendimientos SS.

Los rendimientos medios conseguidos en esta primera fase, eliminando los correspondientes a un desprendimiento de biopelícula, así como el dato del día siguiente, que es lo que tarda en recuperarse el filtro, se recogen en la siguiente tabla:

Tabla 10.17.- Rendimientos en tratamiento biológico relleno plástico. 1ª fase.

	MEDIA	DESVIACION TIPICA	MINIMO	MAXIMO
DQO	40	15,839	9	77
DBO	45	17,589	10	86
SS	53	21,016	12	94

Tabla 10.18.- Rendimientos de la decantación primaria. 1ª fase

	MEDIA	DESVIACION TIPICA	MINIMO	MAXIMO
DQO	45	11,338	8	72
DBO	41	15,004	18	79
SS	69	7,458	48	85

Tabla 10.19.- Rendimientos totales del proceso. 1ª fase.

	MEDIA	DESVIACION TIPICA	MINIMO	MAXIMO
DQO	67	13,451	21	91
DBO	66	15,095	32	97
SS	85	8,540	59	98

10.4.7.2.- Datos de salida. Meses Abril, Mayo y Junio

En los gráficos que aparecen a continuación se reflejan los datos de salida, tanto en DBO, DQO y SS en los tres meses que dura esta primera fase de investigación. De nuevo se han colocado notas identificativas de los distintos fenómenos que se producen a lo largo de esta fase. Los gráficos indicados son:

- Gráfico nº 10.10.- Investigación de fondo. Relleno plástico. 1ª fase. Entrada y salida DQO. Mes Abril 1994.

- Gráfico nº 10.11.- Investigación de fondo. Relleno plástico. 1ª fase. Entrada y salida DBO₅. Mes Abril 1994.

- Gráfico nº 10.12.- Investigación de fondo. Relleno plástico. 1ª fase. Entrada y salida SS. Mes Abril 1994.

- Gráfico nº 10.13.- Investigación de fondo. Relleno plástico. 1ª fase. Entrada y salida DQO. Mes Mayo 1994.

- Gráfico nº 10.14.- Investigación de fondo. Relleno plástico. 1ª fase. Entrada y salida DBO₅. Mes Mayo 1994.

- Gráfico nº 10.15.- Investigación de fondo. Relleno plástico. 1ª fase. Entrada y salida SS. Mes Mayo 1994.

- Gráfico nº 10.16.- Investigación de fondo. Relleno plástico. 1ª fase. Entrada y salida DQO. Mes Junio 1994.

- Gráfico nº 10.17.- Investigación de fondo. Relleno plástico. 1ª fase. Entrada y salida DBO₅. Mes Junio 1994.

- Gráfico nº 10.18.- Investigación de fondo. Relleno plástico. 1ª fase. Entrada y salida SS. Mes Junio 1994.

Los valores medios de salida en DBO, DQO y SS en esta primera fase, eliminando los correspondientes a un desprendimiento de biopelícula, así como el dato del día siguiente, que es lo que tarde en recuperarse el filtro, se recogen en la siguiente tabla:

Tabla 10.20.- Valores medios de salida en tratamiento biológico relleno plástico.

1ª fase.

	MEDIA	DESVIACION TIPICA	MINIMO	MAXIMO
DQO	200	77,4419188	61	445
DBO	80	41,9262	10	195
SS	32	17,3313263	3	76

10.4.7.3.- Relación rendimientos y parámetros establecidos

Se han recogido una serie de gráficos en los que se relacionan los rendimientos obtenidos con los distintos parámetros establecidos. Esto nos daría una idea de cuales podrían ser los rendimientos medios esperados en función de la contaminación de entrada. Los puntos obtenidos se han aproximado a una curva tipo exponencial, que es la que mejor se ajustaba a los datos de los que disponíamos.

Estos gráficos son los siguientes:

- Gráfico nº 10.19.- Investigación de fondo. Relleno plástico. 1ª fase. Rendimientos DQO/carga DBO₅.
- Gráfico nº 10.20.- Investigación de fondo. Relleno plástico. 1ª fase. Rendimientos DBO₅/carga DBO₅.
- Gráfico nº 10.21.- Investigación de fondo. Relleno plástico. 1ª fase. Rendimientos SS/carga DBO₅.

- Gráfico nº 10.22.- Investigación de fondo. Relleno plástico. 1ª fase. Rendimientos DQO /carga SS.
- Gráfico nº 10.23.- Investigación de fondo. Relleno plástico. 1ª fase. Rendimientos DBO₅ /carga SS.
- Gráfico nº 10.24.- Investigación de fondo. Relleno plástico. 1ª fase. Rendimientos SS/carga SS.
- Gráfico nº 10.25.- Investigación de fondo. Relleno plástico. 1ª fase. Rendimientos DQO /carga hidraulica.
- Gráfico nº 10.26.- Investigación de fondo. Relleno plástico. 1ª fase. Rendimientos DBO₅ /carga hidraulica.
- Gráfico nº 10.27.- Investigación de fondo. Relleno plástico. 1ª fase. Rendimientos SS/carga hidraulica.
- Gráfico nº 10.28.- Investigación de fondo. Relleno plástico. 1ª fase. DQO de salida/carga DBO₅.
- Gráfico nº 10.29.- Investigación de fondo. Relleno plástico. 1ª fase. DBO₅ de salida/carga DBO₅.
- Gráfico nº 10.30.- Investigación de fondo. Relleno plástico. 1ª fase. SS de salida/carga DBO₅.
- Gráfico nº 10.31.- Investigación de fondo. Relleno plástico. 1ª fase. DQO de salida/carga SS.
- Gráfico nº 10.32.- Investigación de fondo. Relleno plástico. 1ª fase. DBO₅ de

salida/carga SS.

- Gráfico nº 10.33.- Investigación de fondo. Relleno plástico. 1ª fase. SS de salida/carga SS.

También se ha reflejado gráficamente el porcentaje de eliminación de DQO, DBO₅ y SS en las etapas de la decantación primaria y el tratamiento biológico. Estos son los siguientes gráficos:

- Gráfico nº 10.34.- Investigación de fondo. Relleno plástico. 1ª fase. Rendimientos del proceso en DQO.

- Gráfico nº 10.35.- Investigación de fondo. Relleno plástico. 1ª fase. Rendimientos del proceso en DBO₅.

- Gráfico nº 10.36.- Investigación de fondo. Relleno plástico. 1ª fase. Rendimientos del proceso en SS.

Las relaciones con la variable carga DQO no se han establecido ya que para el diseño de sistemas de depuración lo que generalmente se utiliza es la DBO₅, con la que existe una relación conocida.

10.4.7.4.- Consumos de oxígeno

Se ha estudiado también cuales son las necesidades de aireación, ya que se

trataría de un factor muy importante a la hora de evaluar económicamente la explotación de un sistema de lechos biológicos inundados con este tipo de relleno. Para ello se ha relacionado rendimientos medios y consumos de oxígeno. Se han considerado tres intervalos para los caudales de aire de proceso, y en función de estos se recogen los rendimientos medios obtenidos para la DBO, DQO y SS.

- Gráfico nº 10.37.- Investigación de fondo. Relleno plástico. Rendimientos medios en función del caudal de aire de proceso. 1ª fase.

En la tabla nº 10.21 se recogen estos rendimientos medios.

Puede observarse como los rendimientos medios disminuyen al aumentar los caudales de aire de proceso. Esto se debe a una mayor agitación del relleno y por tanto una menor fijación de la biopelícula al soporte.

Tabla nº 10.21.- Rendimientos medios en función de caudal de aire de proceso.

	Q < 20 l/h			20 l/h < Q < 40 l/h		
	DQO	DBO	SS	DQO	DBO	SS
Media	50	55	66	35	39	47
Mediana	49	54	65,5	32	36	44
Desviación típica	10,5806	11,8625	13,2933	14,92185	16,8477	20,23407
Mínimo	27	30	36	17	18	19
Máximo	77	86	90	69	79	94

Tabla n° 10.21 (bis).- Rendimientos medios en función de caudal de aire de proceso.

	40 l/h < Q < 60 l/h		
	DDO	DBO	SS
Media	25	28	28
Mediana	24	27	26
Desviación típica	5,448623	6,442049	9,908960
Mínimo	19	20	18
Máximo	34	38	42

Se ha analizado además la relación entre el caudal de aire aportado y los kg de oxígeno/kg de DBO eliminada. Para ello se ha estimado que el compresor produce aire con 0,286 kg de oxígeno/m³ con un rendimiento del 15%. Se obtiene de esta forma unos valores medios para la relación kg O₂/kg DBO_{5 eliminada} de 0,16 con un mínimo de 0,06 y un máximo de 0,46. En el gráfico 10.38 se recoge la relación de O₂ y kg DBO_{eliminado}

B) SEGUNDA FASE: LECHO FLOTANTE Y ALIMENTACION AGUA DE PROCESO INFERIOR

10.4.8.- Resultados analíticos

En este apartado se van a recoger las siguientes tablas:

- Tabla n° 10.22.- Entrada de agua bruta. Meses de Julio y Agosto de 1994

- Tabla nº 10.23.- Agua decantada. Meses de Julio y Agosto de 1994
- Tabla nº 10.24.- Salida agua depurada (con decantación secundaria). Meses de Julio y Agosto 1994.
- Tabla nº 10.25.- Caudales agua de proceso y aire de proceso. Meses Julio y Agosto 1994
- Tabla nº 10.26.- Observaciones meses Julio 1994
- Tabla nº 10.27.- Observaciones mes Agosto 1994
- Tabla nº 10.28.- Rendimientos y carga orgánica de entrada (kg DBO/m³.d). Julio y Agosto 1994
- Tabla nº 10.29.- Rendimientos y carga hidraulica de entrada (m³/m²d). Julio y Agosto 1994
- Tabla nº 10.30.- Rendimientos y carga de sólidos de entrada (kg SS/m³.d). Julio y Agosto 1994
- Tabla nº 10.31.- Rendimientos y caudal de aire de proceso (l/h). Julio y Agosto 1994
- Tabla nº 10.32.- Rendimientos de proceso. Julio 1994
- Tabla nº 10.33.- Rendimientos de proceso. Agosto 1994

Tabla n° 10.22.- Relleno plástico 2ª fase. Datos agua bruta. Julio y Agosto 1994. DBO, DQO y SS en mg/l. pH

Dia	Julio				Agosto			
	pH	DBO	DQO	SS	pH	DBO	DQO	SS
1	8	320	460	178	7,8	260	504	214
2	8,3	325	472	197	7,8	280	547	198
3	8,1	315	455	172	8	200	451	178
4	7,9	320	459	194	7,8	210	417	160
5	8,1	315	449	158	7,7	135	398	142
6	7,9	430	616	286	8	130	375	131
7	8,1	310	447	176	7,7	130	375	132
8	7,7	290	421	180	7,8	205	394	142
9	7,9	340	487	174	7,9	220	559	164
10	7,8	375	538	180	7,6	170	384	162
11	7,9	340	490	188	7,7	215	392	168
12	7,8	310	445	166	7,6	175	357	154
13	7,9	315	451	180	7,8	170	385	164
14	8	385	548	220	7,7	160	371	171
15	7,9	365	523	210	7,7	160	375	120
16	7,8	340	587	214	7,5	220	424	174
17	7,9	245	351	150	7,4	210	433	218
18	7,8	375	535	184	7,7	220	404	166
19	7,9	255	367	154	7,5	185	412	198
20	7,8	405	580	150	7,6	180	410	187
21	7,8	290	414	116	7,6	130	306	216
22	8	295	421	113	7,5	245	409	166
23	8,1	275	398	115	7,5	210	392	170
24	7,9	275	392	124	7,5	200	425	204
25	7,9	385	553	300	7,8	210	454	230
26	7,9	505	727	318	7,8	195	420	201
27	7,8	475	684	224	7,9	180	418	198
28	7,8	470	671	222	7,8	190	410	177
29	7,9	475	681	210	7,8	260	485	210
30	8	490	701	178	7,7	220	384	200
31	7,9	490	702	189	7,6	240	487	196

Tabla n° 10.23.- Relleno plástico. 2ª fase. Datos agua decantada. Meses Julio y Agosto 1994. DBO, DQO y SS en mg/l. pH

Día	Julio				Agosto			
	pH	DBO	DQO	SS	pH	DBO	DQO	SS
1	7,9	160	322	82	7,8	145	304	102
2	7,7	280	358	72	7,7	215	310	80
3	8	140	212	40	7,9	125	273	54
4	7,5	150	257	52	7,8	160	259	64
5	7,9	110	292	68	7,6	90	260	62
6	7,6	120	349	64	7,9	80	230	71
7	7,8	140	341	82	7,7	110	241	68
8	7,9	130	262	44	7,9	130	294	72
9	7,7	170	346	74	7,7	170	278	100
10	7,6	120	272	50	7,7	130	284	76
11	7,6	175	351	52	7,6	135	268	106
12	7,7	150	300	58	7,7	140	295	71
13	7,8	160	310	54	7,4	110	284	68
14	7,7	190	310	54	7,7	115	279	80
15	7,7	150	298	76	7,6	100	283	94
16	7,8	160	322	64	7,7	160	276	68
17	8	130	198	52	7,7	130	249	70
18	7,7	165	318	72	7,6	180	268	76
19	8	120	296	82	7,8	140	250	69
20	8	150	300	90	7,8	160	243	68
21	7,8	140	233	71	7,7	105	231	72
22	7,8	165	318	58	7,7	150	284	70
23	7,9	120	296	66	7,8	140	259	80
24	7,9	150	280	70	7,8	150	292	112
25	7,7	140	253	42	7,7	160	310	85
26	7,7	150	407	50	7,7	145	295	81
27	7,8	140	253	64	7,8	140	300	86
28	7,8	180	352	92	7,8	100	289	70
29	7,9	140	380	86	7,7	120	320	81
30	7,8	180	352	82	7,6	150	320	110
31	7,8	150	300	76	7,8	180	331	102

Tabla n° 10.24.- Relleno plástico. 2ª fase. Datos agua depurada (sin decantación secundaria). Meses de Julio y Agosto 1994. DBO, DQO y SS en mg/l. pH

Dia	Julio				Agosto			
	pH	DBO	DQO	SS	pH	DBO	DQO	SS
1	8	100	218	55	8	85	197	53
2	7,8	135	243	51	7,9	155	225	42
3	8	65	115	18	7,9	75	148	24
4	7,5	35	120	19	7,9	135	210	53
5	8	70	240	51	7,8	60	176	33
6	7,8	60	203	29	7,8	40	138	24
7	7,9	40	168	25	7,8	60	124	22
8	8	15	67	10	7,9	85	187	32
9	7,8	45	187	29	7,9	115	185	53
10	7,7	25	95	10	7,9	75	167	33
11	7,7	90	204	28	7,7	70	151	53
12	7,9	60	167	24	7,8	85	193	35
13	7,9	35	162	12	7,7	85	202	55
14	7,8	60	138	22	7,8	80	189	48
15	7,8	35	154	12	7,7	55	153	40
16	7,8	90	237	38	7,9	125	207	41
17	7,9	60	114	26	7,9	95	170	38
18	7,8	85	191	36	7,7	135	194	51
19	7,9	45	169	27	7,9	105	182	40
20	7,9	65	154	28	7,9	125	185	42
21	8	55	98	26	7,7	90	181	61
22	8	234	120	43	120	120	213	55
23	7,8	75	185	36	8	110	210	46
24	7,9	85	176	35	8	115	215	85
25	7,9	65	143	21	7,9	110	213	52
26	7,9	40	110	12	7,9	100	217	43
27	7,8	30	104	10	7,8	95	208	50
28	7,8	70	219	16	7,9	80	230	54
29	8	70	234	40	7,9	75	213	49
30	7,9	130	260	51	7,8	105	223	70
31	7,9	95	186	43	7,9	135	261	67

Tabla nº 10.25.- Relleno plástico. 2ª fase. Caudales de agua de proceso (l/h) y aire de proceso (l/h). Meses Julio y Agosto 1994.

Día	Caudal agua (l/h)		Caudal de aire	
	Julio	Agosto	Julio	Agosto
1	30	70	10	60
2	30	70	10	60
3	30	70	10	60
4	30	70	10	60
5	30	70	10	60
6	30	70	10	60
7	30	70	20	60
8	30	70	20	60
9	30	70	20	40
10	30	70	20	40
11	30	70	20	40
12	30	70	20	40
13	30	70	20	40
14	30	70	20	40
15	30	70	30	40
16	50	110	30	60
17	50	110	30	60
18	50	110	30	60
19	50	110	30	60
20	50	110	30	60
21	50	110	30	60
22	50	110	30	60
23	50	110	30	60
24	50	110	40	60
25	50	110	40	30
26	50	110	40	30
27	50	110	40	30
28	50	110	40	30
29	50	110	40	30
30	50	110	40	30
31	50	110	40	30

Tabla nº 10.26.-. Relleno plástico. 2ª fase. Observaciones mes de Julio 1994.

Día	Julio
1	
2	Puesta en marcha de la planta piloto con alimentación inferior de agua de proceso
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	Desprendimiento de la biopelícula.
17	
18	
19	
20	
21	
22	Desprendimiento de la biopelícula.Fallo del compresor
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	Desprendimiento de la biopelícula
31	

Tabla n° 10.27.- Relleno plástico. 2ª fase. Observaciones mes de Agosto 1994.

Día	Agosto
1	
2	
3	
4	Desprendimiento de la biopelícula.
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	Desprendimiento de la biopelícula.
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	Desprendimiento de la biopelícula.
24	
25	
26	
27	
28	Desprendimiento de la biopelícula. Fallo del compresor
29	
30	
31	

Tabla n° 10.28.- Relleno plástico. 2ª fase. Rendimientos y carga orgánica (kg/m³.d).
Meses Julio y Agosto 1994

Dia	Julio				Agosto			
	Carga	DBO	DQO	SS	Carga	DBO	DQO	SS
1	0,91	38	32	33	1,91	41	35	48
2	1,58	52	32	29	2,84	28	27	48
3	0,79	54	46	55	1,65	40	46	56
4	0,85	77	53	63	2,11	16	19	17
5	0,62	36	18	25	1,19	33	32	47
6	0,68	50	42	55	1,06	50	40	66
7	0,79	71	51	70	1,45	45	49	68
8	0,74	88	74	77	1,72	35	36	56
9	0,96	74	46	61	2,24	32	33	47
10	0,68	79	65	80	1,72	42	41	57
11	0,99	49	42	46	1,78	48	44	50
12	0,85	60	44	59	1,85	39	35	51
13	0,91	78	48	78	1,45	23	29	19
14	1,08	68	55	59	1,52	30	32	40
15	0,85	77	48	84	1,32	45	46	57
16	1,51	44	26	41	3,32	22	25	40
17	1,23	54	42	50	2,70	27	32	46
18	1,56	48	40	50	3,73	25	28	33
19	1,13	63	43	67	2,90	25	27	42
20	1,41	57	49	69	3,32	22	24	38
21	1,32	61	58	63	2,18	14	22	15
22	1,56	27	26	26	3,11	20	25	21
23	1,13	38	38	45	2,90	21	19	43
24	1,41	43	37	50	3,11	23	26	24
25	1,32	54	43	50	3,32	31	31	39
26	1,41	73	73	76	3,01	31	26	47
27	1,32	79	59	84	2,90	32	31	42
28	1,70	61	38	83	2,07	20	20	23
29	1,32	50	38	53	2,49	38	33	40
30	1,70	28	26	38	3,11	30	30	36
31	1,41	37	38	43	3,73	25	21	34

Tabla nº 10.29.- Relleno plástico. 2ª fase. Rendimientos y carga hidráulica (m³/m².d). Meses Julio y Agosto 1994

Día	Julio				Agosto			
	Carga	DBO	DQO	SS	Carga	DBO	DQO	SS
1	0,42	38	32	33	0,99	41	35	48
2	0,42	52	32	29	0,99	28	27	48
3	0,42	54	46	55	0,99	40	46	56
4	0,42	77	53	63	0,99	16	19	17
5	0,42	36	18	25	0,99	33	32	47
6	0,42	50	42	55	0,99	50	40	66
7	0,42	71	51	70	0,99	45	49	68
8	0,42	88	74	77	0,99	35	36	56
9	0,42	74	46	61	0,99	32	33	47
10	0,42	79	65	80	0,99	42	41	57
11	0,42	49	42	46	0,99	48	44	50
12	0,42	60	44	59	0,99	39	35	51
13	0,42	78	48	78	0,99	23	29	19
14	0,42	68	55	59	0,99	30	32	40
15	0,42	77	48	84	0,99	45	46	57
16	0,71	44	26	41	1,56	22	25	40
17	0,71	54	42	50	1,56	27	32	46
18	0,71	48	40	50	1,56	25	28	33
19	0,71	63	43	67	1,56	25	27	42
20	0,71	57	49	69	1,56	22	24	38
21	0,71	61	58	63	1,56	14	22	15
22	0,71	27	26	26	1,56	20	25	21
23	0,71	38	38	45	1,56	21	19	43
24	0,71	43	37	50	1,56	23	26	24
25	0,71	54	43	50	1,56	31	31	39
26	0,71	73	73	76	1,56	31	26	47
27	0,71	79	59	84	1,56	32	31	42
28	0,71	61	38	83	1,56	20	20	23
29	0,71	50	38	53	1,56	38	33	40
30	0,71	28	26	38	1,56	30	30	36
31	0,71	37	38	43	1,56	25	21	34

Tabla n° 10.30.- Relleno plástico. 2ª fase. Rendimientos y carga de SS (kg SS/m³.d).
Meses Julio y Agosto 1994

Dia	Julio				Agosto			
	Carga	DBO	DQO	SS	Carga	DBO	DQO	SS
1	0,46	38	32	33	1,35	41	35	48
2	0,41	52	32	29	1,06	28	27	48
3	0,23	54	46	55	0,71	40	46	56
4	0,29	77	53	63	0,85	16	19	17
5	0,38	36	18	25	0,82	33	32	47
6	0,36	50	42	55	0,94	50	40	66
7	0,46	71	51	70	0,90	45	49	68
8	0,25	88	74	77	0,95	35	36	56
9	0,42	74	46	61	1,32	32	33	47
10	0,28	79	65	80	1,00	42	41	57
11	0,29	49	42	46	1,40	48	44	50
12	0,33	60	44	59	0,94	39	35	51
13	0,31	78	48	78	0,90	23	29	19
14	0,31	68	55	59	1,06	30	32	40
15	0,43	77	48	84	1,24	45	46	57
16	0,60	44	26	41	1,41	22	25	40
17	0,49	54	42	50	1,45	27	32	46
18	0,68	48	40	50	1,58	25	28	33
19	0,77	63	43	67	1,43	25	27	42
20	0,85	57	49	69	1,41	22	24	38
21	0,67	61	58	63	1,49	14	22	15
22	0,55	27	26	26	1,45	20	25	21
23	0,62	38	38	45	1,66	21	19	43
24	0,66	43	37	50	3,32	23	26	24
25	0,40	54	43	50	1,76	31	31	39
26	0,47	73	73	76	1,68	31	26	47
27	0,60	79	59	84	1,78	32	31	42
28	0,87	61	38	83	1,45	20	20	23
29	0,81	50	38	53	1,68	38	33	40
30	0,77	28	26	38	2,28	30	30	36
31	0,72	37	38	43	2,12	25	21	34

Tabla n° 10.31.- Relleno plástico. 2ª fase. Rendimientos y caudal aire de proceso (l/h). Meses Julio y Agosto 1994

Día	Julio				Agosto			
	Caudal	DBO	DQO	SS	Cauda	DBO	DQO	SS
1	10	38	32	33	60	41	35	48
2	10	52	32	29	60	28	27	48
3	10	54	46	55	60	40	46	56
4	10	77	53	63	60	16	19	17
5	10	36	18	25	60	33	32	47
6	10	50	42	55	60	50	40	66
7	20	71	51	70	60	45	49	68
8	20	88	74	77	60	35	36	56
9	20	74	46	61	40	32	33	47
10	20	79	65	80	40	42	41	57
11	20	49	42	46	40	48	44	50
12	20	60	44	59	40	39	35	51
13	20	78	48	78	40	23	29	19
14	20	68	55	59	40	30	32	40
15	30	77	48	84	40	45	46	57
16	30	44	26	41	60	22	25	40
17	30	54	42	50	60	27	32	46
18	30	48	40	50	60	25	28	33
19	30	63	43	67	60	25	27	42
20	30	57	49	69	60	22	24	38
21	30	61	58	63	60	14	22	15
22	30	27	26	26	60	20	25	21
23	30	38	38	45	60	21	19	43
24	40	43	37	50	60	23	26	24
25	40	54	43	50	30	31	31	39
26	40	73	73	76	30	31	26	47
27	40	79	59	84	30	32	31	42
28	40	61	38	83	30	20	20	23
29	40	50	38	53	30	38	33	40
30	40	28	26	38	30	30	30	36
31	40	37	38	43	30	25	21	34

Tabla n° 10.32.- Relleno plástico. 2ª fase. Resumen de rendimientos en todo el proceso. Mes Julio 1994.

Día	Decantación primaria			Tratamiento biológico			Total		
	DBO	DQO	SS	DBO	DQO	SS	DBO	DQO	SS
1	50	30	54	38	32	33	69	53	69
2	14	24	63	52	32	29	58	49	74
3	56	53	77	54	46	55	79	75	90
4	53	44	73	77	53	63	89	74	90
5	65	35	57	36	18	25	78	47	68
6	72	43	78	50	42	55	86	67	90
7	55	24	53	71	51	70	87	62	86
8	55	38	76	88	74	77	95	84	94
9	50	29	57	74	46	61	87	62	83
10	68	49	72	79	65	80	93	82	94
11	49	28	72	49	42	46	74	58	85
12	52	33	65	60	44	59	81	62	86
13	49	31	70	78	48	78	89	64	93
14	51	43	75	68	55	59	84	75	90
15	59	43	64	77	48	84	90	71	94
16	53	34	70	44	26	41	74	51	82
17	47	44	65	54	42	50	76	68	83
18	56	41	61	48	40	50	77	64	80
19	53	19	47	63	43	67	82	54	82
20	63	48	40	57	49	69	8	73	81
21	52	44	39	61	58	63	81	76	78
22	44	24	49	27	26	26	59	44	62
23	56	26	43	38	38	45	73	54	69
24	45	29	44	43	37	50	69	55	72
25	64	54	86	54	43	50	83	74	93
26	70	44	84	73	73	76	92	85	96
27	71	63	71	79	59	84	94	85	96
28	62	48	59	61	38	83	85	67	93
29	71	44	59	50	38	53	85	66	81
30	63	50	54	28	26	38	73	63	71
31	69	57	60	37	38	43	81	74	77

Tabla n° 10.33.- Relleno plástico. 2ª fase. Resumen de rendimientos en todo el proceso. Mes Agosto 1994.

Día	Decantación primaria			Tratamiento biológico			Total		
	DBO	DQO	SS	DBO	DQO	SS	DBO	DQO	SS
1	44	40	52	41	35	48	67	61	75
2	23	43	60	28	27	48	45	59	79
3	38	39	70	40	46	56	63	67	87
4	24	38	60	16	19	17	36	50	67
5	33	35	56	33	32	47	56	56	77
6	38	39	46	50	40	66	69	63	82
7	15	36	48	45	49	68	54	67	83
8	37	25	49	35	36	56	59	53	77
9	23	50	39	32	33	47	48	67	68
10	24	26	53	42	41	57	56	57	80
11	37	32	37	48	44	50	67	61	68
12	20	17	54	39	35	51	51	46	77
13	35	26	59	23	29	19	50	48	66
14	28	25	53	30	32	40	50	49	72
15	38	25	22	45	46	57	66	59	67
16	27	35	61	22	25	40	43	51	76
17	38	42	68	27	32	46	55	61	83
18	18	34	54	25	28	33	39	52	69
19	24	39	65	25	27	42	43	56	80
20	11	41	64	22	24	38	31	55	78
21	19	25	67	14	22	15	31	41	72
22	39	31	58	20	25	21	51	48	67
23	33	34	53	21	19	43	48	46	73
24	25	31	45	23	26	24	43	49	58
25	24	32	63	31	31	39	48	53	77
26	26	30	60	31	26	47	49	48	79
27	22	28	57	32	31	42	47	50	75
28	47	30	60	20	20	23	58	44	69
29	54	34	61	38	33	40	71	56	77
30	32	17	45	30	30	36	52	42	65
31	25	32	48	25	21	34	44	46	66

10.4.9.- Estudio sistemático de resultados

A partir de los datos recogidos en las tablas anteriores, para una mejor visualización y conclusión de los mismos, se han realizado un conjunto de gráficos en los que se recogen tanto los resultados obtenidos, como las relaciones encontradas con los parámetros y variables establecidos previamente para esta investigación. Todos estos gráficos se recogen en el Anejo nº 4: *Gráficos. Investigación de fondo*, y son los que a continuación se exponen.

10.4.9.1.- Rendimientos obtenidos

Los rendimientos obtenidos en DBO, DQO y SS durante los meses de Julio y Agosto se han recogido en los gráficos siguientes, sobre los que se han colocado leyendas explicativas de los distintos fenómenos observados.

- Gráfico nº 10.39.- Investigación de fondo. Relleno plástico. 2ª fase. Mes de Julio 1994.

Rendimientos DQO.

- Gráfico nº 10.40.- Investigación de fondo. Relleno plástico. 2ª fase. Mes de Julio 1994.

Rendimientos DBO₅.

- Gráfico nº 10.41.- Investigación de fondo. Relleno plástico. 2ª fase. Mes de Julio 1994.

Rendimiento SS.

- Gráfico nº 10.42.- Investigación de fondo. Relleno plástico. 2ª fase. Mes de Agosto 1994. Rendimiento DQO.

- Gráfico n° 10.43.- Investigación de fondo. Relleno plástico. 2ª fase. Mes de Agosto 1994. Rendimiento DBO₅.

- Gráfico n° 10.44.- Investigación de fondo. Relleno plástico. 2ª fase. Mes de Agosto 1994. Rendimiento SS.

De nuevo se aprecia en estos gráficos un funcionamiento discontinuo del lecho, con desprendimientos de la biopelícula cada 7-10 días aproximadamente, o bien cuando se producen problemas de incrementos de aire importantes. Las incidencias que se recogen en el cuadro o tabla de observaciones se han indicado también en los gráficos.

Los rendimientos medios conseguidos en esta primera fase, eliminando los correspondientes a un desprendimiento de biopelícula, así como el dato del día siguiente, que es lo que tarda en recuperarse el filtro, se recogen en la siguiente tabla:

Tabla 10.34.- Rendimientos en tratamiento biológico relleno plástico. 2ª fase.

	MEDIA	DESVIACION TIPICA	MINIMO	MAXIMO
DQO	40	13,04607	19	74
DBO	47	19,01990	21	88
SS	55	15,17578	24	84

Tabla 10.35.- Rendimientos de la decantación primaria, 2ª fase

	MEDIA	DESVIACION TIPICA	MINIMO	MAXIMO
DQO	36	9,2345	17	63
DBO	43	16,7933	11	72
SS	58	11,9914	24	86

Tabla 10.36.- Rendimientos totales del proceso, Relleno plástico, 2ª fase

	MEDIA	DESVIACION TIPICA	MINIMO	MAXIMO
DQO	66	16,017859	51	85
DBO	84	7,7112086	67	95
SS	86	7,215102	72	96

10.4.9.2.- Datos de salida. Meses Julio y Agosto

En los gráficos que aparecen a continuación se reflejan los datos de salida, tanto en DBO₅, DQO y SS en los tres meses que dura esta primera fase de investigación. Sobre ellos aparecen de nuevo notas explicativas de las distintas incidencias observadas en el proceso.

- Gráfico nº 10.45.- Investigación de fondo, Relleno plástico, 2ª fase. Entrada y salida DQO. Mes Julio 1994.

- Gráfico nº 10.46.- Investigación de fondo, Relleno plástico, 2ª fase. Entrada y salida DBO₅. Mes Julio 1994.

- Gráfico nº 10.47.- Investigación de fondo. Relleno plástico. 2ª fase. Entrada y salida SS. Mes Julio 1994.

- Gráfico nº 10.48.- Investigación de fondo. Relleno plástico. 2ª fase. Entrada y salida DQO. Mes Agosto 1994.

- Gráfico nº 10.49.- Investigación de fondo. Relleno plástico. 2ª fase. Entrada y salida DBO₅. Mes Agosto 1994.

- Gráfico nº 10.50.- Investigación de fondo. Relleno plástico. 2ª fase. Entrada y salida SS. Mes Agosto 1994.

Los valores medios de salida de DBO₅, DQO y SS en esta segunda fase, eliminando los correspondientes a un desprendimiento de biopelícula, así como el dato del día siguiente, que es lo que tarda en recuperarse el filtro se recogen en la siguiente tabla:

Tabla 10.37.- Valores medios de salida en tratamiento biológico. Relleno plástico. 2ª fase

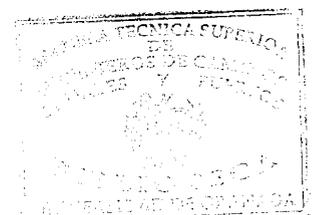
	MEDIA	DESVIACION TIPICA	MINIMO	MAXIMO
DQO	174	41,00589	67	261
DBO	77	33,17042	15	155
SS	34	15,79194	10	70

10.4.9.3.- Relación rendimientos y parámetros establecidos

Se han recogido una serie de gráficos en los que se relacionan los rendimientos obtenidos con los distintos parámetros establecidos. Esto permitiría conocer los rendimientos medios esperados así como los valores de salida del efluente a partir de una contaminación de entrada conocida.

Estos gráficos son los siguientes:

- Gráfico nº 10.51.- Investigación de fondo. Relleno plástico. 2ª fase. Rendimientos DQO/carga DBO_5 .
- Gráfico nº 10.52.- Investigación de fondo. Relleno plástico. 2ª fase. Rendimientos DBO_5 /carga DBO_5 .
- Gráfico nº 10.53.- Investigación de fondo. Relleno plástico. 2ª fase. Rendimientos SS/carga DBO_5 .
- Gráfico nº 10.54.- Investigación de fondo. Relleno plástico. 2ª fase. Rendimientos DQO /carga SS.
- Gráfico nº 10.55.- Investigación de fondo. Relleno plástico. 2ª fase. Rendimientos DBO_5 /carga SS.
- Gráfico nº 10.56.- Investigación de fondo. Relleno plástico. 2ª fase. Rendimientos SS/carga SS.
- Gráfico nº 10.57.- Investigación de fondo. Relleno plástico. 2ª fase. Rendimientos DQO



/carga hidráulica.

- Gráfico nº 10.58.- Investigación de fondo. Relleno plástico. 2ª fase. Rendimientos DBO_5 /carga hidráulica.

- Gráfico nº 10.59.- Investigación de fondo. Relleno plástico. 2ª fase. Rendimientos SS/carga hidráulica.

- Gráfico nº 10.60.- Investigación de fondo. Relleno plástico. 2ª fase. DQO de salida/carga DBO_5 .

- Gráfico nº 10.61.- Investigación de fondo. Relleno plástico. 2ª fase. DBO_5 de salida / carga DBO_5 .

- Gráfico nº 10.62.- Investigación de fondo. Relleno plástico. 2ª fase. SS de salida / carga DBO_5 .

- Gráfico nº 10.63.- Investigación de fondo. Relleno plástico. 2ª fase. DQO de salida / carga SS.

- Gráfico nº 10.64.- Investigación de fondo. Relleno plástico. 2ª fase. DBO_5 de salida / carga SS.

- Gráfico nº 10.65.- Investigación de fondo. Relleno plástico. 2ª fase. SS de salida / carga SS.

También se ha reflejado gráficamente el porcentaje de eliminación de DQO, DBO_5 y SS en las etapas de la decantación primaria y el tratamiento biológico. Estos son los siguientes gráficos:

- **Gráfico n° 10.66.**- Investigación de fondo. Relleno plástico. 2ª fase. Rendimientos del proceso en DQO.
- **Gráfico n° 10.67.**- Investigación de fondo. Relleno plástico. 2ª fase. Rendimientos del proceso en DBO₅.
- **Gráfico n° 10.68.**- Investigación de fondo. Relleno plástico. 2ª fase. Rendimientos del proceso en SS.

Las relaciones con la variable carga DQO no se han establecido ya que para el diseño de sistemas de depuración lo que generalmente se utiliza es la DBO₅, con la que existe una relación conocida.

10.4.9.4.- Consumos de oxígeno

Se ha estudiado también cuales son las necesidades de aireación, ya que se trataría de un factor muy importante a la hora de evaluar económicamente la explotación de un sistema de lechos biológicos inundados con este tipo de relleno. Para ello se ha relacionado rendimientos medios y consumos de oxígeno. Se han considerado tres intervalos para los caudales de aire de proceso, y en función de estos se recogen los rendimientos medios obtenidos para la DBO₅, DQO y SS.

- **Gráfico n° 10.69.**- Investigación de fondo. Relleno plástico. Rendimientos medios en función del caudal de aire de proceso. 2ª fase.

En la tabla nº 10.38 se recogen estos rendimientos medios.

Tabla nº 10.38.- Rendimientos medios en función de caudal de aire de proceso.

	Q < 20 l/h			20 l/h < Q < 40 l/h		
	DQO	DBO	SS	DQO	DBO	SS
Media	57	76	71	41	49	56
Mediana	53	76	73,5	40	48	50
Desviación típica	9,94568	6,44635	8,274794	11,5978	15,1043	14,75188
Mínimo	46	68	59	21	25	34
Máximo	74	88	80	73	79	84

Tabla nº 10.38 (bis).- Rendimientos medios en función de caudal de aire de proceso.

	40 l/h < Q < 60 l/h		
	DQO	DBO	SS
Media	32	31	47
Mediana	28	27	46
Desviación típica	8,58304	9,51485	11,96889
Mínimo	19	21	24
Máximo	49	50	68

Se ha analizado además la relación entre el caudal de aire aportado y los kg de oxígeno/kg de DBO₅ eliminada. Para ello se ha estimado que el compresor produce aire con 0,286 kg de oxígeno/m³ de aire, con un rendimiento del 15%. Se obtienen de esta forma unos valores medios para la relación kg O₂/kg DBO₅ eliminada de 0,13 con un mínimo de 0,05 y un máximo 0,24. En el gráfico 10.70 aparece la relación de O₂ y kg DBO₅ eliminada.

C) TERCERA FASE: LECHO SUMERGIDO Y ALIMENTACION SUPERIOR

10.4.10.- Análisis de datos y estudio sistemático de resultados

No se consiguieron resultados analíticos que indicasen rendimientos en depuración. Durante todo el mes se estuvo probando con distintos caudales de agua de proceso así como con caudales de aire distintos que diesen una mayor o menor aireación al lecho, analizando incluso la posibilidad de trabajar no como un filtro inundado, sino como un lecho fluidificado.

Como se ha indicado en el apartado de problemas presentados, en esta fase se produjo un desplazamiento de las lentejas hacia la parte superior, aunque siempre permanecieron sumergidas como consecuencia del dispositivo instalado en la planta piloto. Esto dió lugar a una fuerte compresión o apelmazamiento del soporte contra el filtro que impedía su desplazamiento. Se podían distinguir tres zonas:

- una superior, que quedaba sin airear y que constituía un bloque prácticamente infranqueable, incluso por el aire, con un espesor de unos 50 cm.
- una intermedia, en la que existía un gran volumen de soporte, aproximadamente la mitad del introducido en el reactor, que se mantenía en una fuerte y constante agitación,
- una final, en la que existían agua, sin partículas de plástico, también en agitación

y con gran cantidad de fangos biológicos en suspensión.

En el soporte no pudo apreciarse crecimiento alguno de biopelícula, sin embargo en todo momento se aparecía fango biológico en suspensión.

Para intentar eliminar los fangos existentes se intentaron en varias ocasiones realizar lavados. El dispositivo de la planta piloto permitía lavados con agua y aire en sentido ascendente. El caudal de agua de lavado sólo conseguía un mayor apelmazamiento de las lentejas contra el soporte que las mantenía sumergidas y por tanto no se conseguía eliminar el fango en suspensión; al contrario sólo se consiguió que este quedase atrapado entre las partículas de soporte que se desplazaban hacia la parte superior, quedando inmovilizadas dentro y dando lugar a un estado anaerobio de esta parte del relleno, debido a la falta de aireación del mismo y la gran cantidad de fangos que quedaron atrapados entre el soporte.

Las muestras tomadas recogían una gran cantidad de fangos y no se consiguieron resultados de depuración, a pesar de realizar incluso una decantación secundaria, de ahí que no se adjunten estos.

Si se optaba por caudales de aire de proceso bajos, la mayor parte de la masa de soporte se desplazaba hacia la parte superior y quedaba sin airear y la biopelícula no

crecía. Si se optaba por caudales de aire de proceso altos la agitación de las lentejas era muy importante, por lo que el rápido movimiento y la fricción entre las partículas evitaba la fijación de la biopelícula.

Los resultados analíticos no se adjuntan ya que no permiten conclusiones algunas.

Se trabajó con unos caudales de agua de proceso entre 30 y 100 l/h, y con unos caudales de aire de proceso entre 10 y 60 l/h.

D) CUARTA FASE: LENTEJAS SUMERGIDAS Y ALIMENTACION INFERIOR

10.4.11.- Análisis de datos y estudio sistemático de resultados

Ante el resultado tan negativo de la fase anterior se intentó modificar el sentido de flujo en el lecho, es decir, se optó por la alimentación de agua de proceso por la parte inferior. De nuevo no se consiguieron resultados analíticos que indicasen rendimientos en depuración. Durante todo el mes se estuvo probando con distintos caudales de agua de proceso así como con caudales de aire distintos que diesen una mayor o menor aireación al lecho, intentando trabajar incluso como un lecho fluidificado.

Como ocurrió en la fase anterior se produjo un desplazamiento de las lentejas

hacia la parte superior, aunque siempre permanecieron sumergidas como consecuencia del dispositivo instalado en la planta piloto. Esto dió lugar a una fuerte compresión o apelmazamiento del soporte contra el filtro que impedía su desplazamiento. De nuevo se podían distinguir tres zonas:

- una superior, que quedaba sin airear y que constituía un bloque prácticamente infranqueable, incluso por el aire, con un espesor de unos 50 cm.
- una intermedia, en la que existía un gran volumen de soporte, aproximadamente la mitad del introducido en el reactor, que se mantenía en una fuerte y constante agitación,
- una final, en la que existían agua, sin partículas de plástico, también en agitación y con gran cantidad de fangos biológicos en suspensión.

En el soporte no pudo apreciarse crecimiento alguno de biopelícula, sin embargo en todo momento se aparecía fango biológico en suspensión. No se intentaron realizar lavados ya que se observó fracasaron en la etapa anterior. Los resultados analíticos mostraban como el efluente en la mayor parte de las ocasiones, a pesar de la decantación secundaria era de características peores incluso que al agua de proceso de entrada a la planta piloto. Estos resultados no se adjuntan ya que con ellos no se llega a conclusiones algunas.

Si se optaba por caudales de aire de proceso bajos, la mayor parte de la masa de

soporte se desplazaba hacia la parte superior y quedaba sin airear y la biopelícula no crecía. Si se optaba por caudales de aire de proceso altos la agitación de las lentejas era muy importante, por lo que el rápido movimiento y la fricción entre las partículas evitaba la fijación de la biopelícula. Se trabajó con unos caudales de agua de proceso entre 30 y 100 l/h, y con unos caudales de aire de proceso entre 10 y 60 l/h.

10.5.- INVESTIGACION DE FONDO. RELLENO CERAMICO

10.5.1.- Introducción

En el mes de Diciembre se comenzó a trabajar con el relleno cerámico. Esta etapa se desarrolló desde el mes de Diciembre de 1994 hasta Junio de 1995.

La investigación de este relleno se va a realizar en las siguientes fases que se resumen en la tabla 10.39.

Tabla 10.39.- Fases de trabajo con el relleno cerámico

	GRANULOMETRIA	IMPERMEABILIZACION	AGUA DE PROCESO	MESES DE TRABAJO
1ª FASE	5 a 7 mm	no	superior	Diciembre-Enero
2ª FASE	5 a 7 mm	no	inferior	Febrero
3ª FASE	2 a 5 mm	si	superior	Marzo
4ª FASE	2 a 5 mm	si	inferior	Marzo
5ª FASE	2 a 5 mm	no	superior	Abril-Mayo
6ª FASE	2 a 5 mm	no	inferior	Junio

En la tabla anterior se indican algunas de las características del relleno utilizado, aunque la descripción completa se hace en el apartado denominado RELLENOS UTILIZADOS, CARACTERISTICAS, de este mismo capítulo.

10.5.2.- Puesta en marcha de las distintas fases

Hay que indicar que la secuencia de fases se realizó en función de las conclusiones que se fueron obteniendo en cada una de ellas, que dieron lugar a modificaciones en aspectos de granulometría, necesidades de impermeabilización o alimentación de agua de proceso.

a) En el mes de Diciembre se comenzó a trabajar con la planta piloto semitécnica y el relleno cerámico utilizado en la investigación de choque, con las mismas características de densidad y granulometría. Las características del lecho se resumen en:

- soporte: relleno cerámico, granulometría de 5 a 7 mm, sin impermeabilizar
- altura de lecho 1,80 m
- alimentación de aire de proceso por la parte inferior del lecho
- alimentación de agua de proceso superior

De esta forma se estuvo trabajando durante los meses de Diciembre (1994) y Enero (1995).

Hay que indicar que en toda la investigación de fondo con el relleno cerámico el aire de proceso entraba por la parte inferior del lecho, sin seguir la patente francesa de OTV que deja una parte del filtro en estado anaerobio, a pesar de que en la investigación de choque si se siguió esta patente. La causa fue que el dispositivo diseñado para esta investigación de choque sólo permitía la entrada de aire de proceso dejando la parte inferior de la misma en estado anaerobio.

b) En el mes de Febrero se comenzó a trabajar con la alimentación de agua de proceso por la parte inferior del lecho. En esta segunda fase de trabajo las características del lecho se resumen en:

- soporte: relleno cerámico, granulometría de 5 a 7 mm, sin impermeabilizar
- altura de lecho 1,80 m
- alimentación de aire de proceso por la parte inferior del lecho
- alimentación de agua de proceso inferior.

De esta forma se estuvo trabajando durante el mes de Febrero.

c) En el mes de Marzo se comenzó a trabajar con el relleno impermeabilizado y con granulometría de 2 a 5 mm. La primera mitad del mes se trabajó con alimentación superior de agua de proceso y la segunda quincena con alimentación inferior. En esta tercera y cuarta fase de trabajo las características del lecho se resumen en:

- soporte: relleno cerámico, granulometría de 2 a 5 mm, impermeabilizado
- altura de lecho 1,80 m
- alimentación de aire de proceso por la parte inferior del lecho
- alimentación de agua de proceso superior en la tercera fase
- alimentación de agua de proceso inferior en la cuarta fase.

De esta forma se estuvo trabajando durante el mes de Marzo.

d) En el mes de Abril se comenzó a trabajar con relleno cerámico de granulometría 2 a 5 mm, pero sin impermeabilizar. En esta quinta fase de trabajo las características del lecho se resumen en:

- soporte: relleno cerámico, granulometría 2 a 5 mm, sin impermeabilizar
- altura del lecho 1,80 m
- alimentación de aire de proceso por la parte inferior del lecho
- alimentación de agua de proceso superior

De esta forma se estuvo trabajando durante los meses de Abril y Mayo.

e) En la sexta fase, que comenzó el mes de Junio, se cambió el sentido de flujo de trabajo del lecho, sin modificar las características del relleno. Las características del lecho se resumen en:

- soporte: relleno cerámico, granulometría 2 a 5 mm, sin impermeabilizar
- altura de lecho 1,80 m
- alimentación de aire de proceso por la parte inferior del lecho
- alimentación de agua de proceso inferior.

De esta forma se estuvo trabajando durante el mes de Junio.

10.5.3.- Metodología para la toma de datos

a) 1ª, 3ª y 5ª fase: alimentación superior agua de proceso

Tras la investigación de choque se comprobó que no se necesitaba decantación secundaria mientras se mantuviera la parte inferior del filtro sin aireación. Con la toma de las primeras muestras, como consecuencia de la entrada de aire de proceso por la parte inferior del lecho, se observó la necesidad de una decantación secundaria, por lo que se tomaron las muestras a la salida del filtro, pero a la hora de analizarlas se las dejaba durante una hora que decantasen en el recipiente de recogida de muestras. Se hacía así para poder disponer del automatismo de la planta piloto de toma de muestras, ya que si las hubiésemos tomado tras el tanque de decantación hubiera sido necesaria una toma manual de las mismas. Se observó no obstante que los fangos sedimentaban con gran rapidez, y se decidió hacer un estudio de la sedimentabilidad del fango.

Las pautas seguidas para la toma de muestras fueron:

- Toma de muestras automática
- Muestras integradas, procedentes de muestreos cada tres horas
- Homogeneizar la muestra en el laboratorio y dejarla durante una hora para que decantase.

b) 2ª, 4ª y 6ª fase: alimentación inferior de agua de proceso

De la misma forma que ocurrió con la alimentación superior del agua de proceso fue necesario analizar las muestras tras una fase de decantación secundaria.

Las pautas seguidas para la toma de muestras fueron:

- Toma de muestras manual.
- Muestras integradas, procedentes de tres muestreos a las 8, 16 y 21 horas
- Homogeneización de la muestra y analítica tras una hora de decantación en laboratorio.

Se hicieron estudios de la sedimentabilidad del fango, curva de recuperación del filtro tras el lavado y curva de depuración del filtro con muestras tomadas a distintas alturas de la columna.

10.5.4.- Analítica de las muestras

Las muestras tomadas diariamente en cada una de las fases se analizaron en las

siguientes dependencias:

- Analítica rutinaria (pH, DBO, DQO y SS) en el **Laboratorio de la Depuradora Sur.**

- Observaciones microscópicas en el **Laboratorio de la Depuradora Oeste Los Vados.**

10.5.5.- Problemas que se presentaron

a) Problemas con los rellenos

Se volvieron a presentar problemas como consecuencia de las características del relleno, y que serán expuestas en el análisis de resultados y conclusiones definitivas, ya que hasta el momento no se han expuesto resultados analíticos y por tanto sería anticipar hechos.

b) Problemas mecánicos

1.- Problemas a la hora de hacer los lavados ya que la biopelícula formada era demasiado gruesa y había problemas para su evacuación a través de la alcachofa dispuesta para la salida por sifonamiento del agua, obligando a suprimir este filtro, por lo que se producían pérdidas de relleno a través del conducto de sifonamiento.

2.- De nuevo problemas de alimentación de agua de proceso; se producían fallos en la alimentación del agua de proceso como consecuencia del descebe de la bomba. Esto se producía debido a que la línea que iba desde el decantador hasta la bomba que impulsaba el agua se quedaba vacía al producirse la entrada de algún elemento extraño en la tubería.

3.- Fallos en el funcionamiento del compresor que daba lugar a bruscos incrementos del caudal de aire y por tanto a modificaciones importantes en la metodología de trabajo establecida.

4.- Importantes acumulaciones de biopelícula que quedaba atrapada en el relleno y era difícil de eliminar con los lavados, dando lugar poco a poco a empeoramientos del funcionamiento del filtro debido a la acumulación de biopelícula muerta y atrapada en el filtro. Este efecto era más importante con granulometrías mayores.

5.- Al utilizar relleno impermeabilizado con la resina descrita, se producían importantes espumas que hicieron difícil el trabajo con el relleno impermeabilizado.

**A) PRIMERA FASE: GRANULOMETRIA DE 5 A 7 mm,
RELLENO SIN IMPERMEABILIZAR, ALTURA DE FILTRO 1,80
m, ALIMENTACION SUPERIOR DE AGUA DE PROCESO**

10.5.6.- Resultados analíticos

En este apartado se van a recoger las siguientes tablas:

- Tabla nº 10.40.- Entrada agua bruta y decantada. Mes de Diciembre de 1994.
- Tabla nº 10.41.- Entrada agua bruta y decantada. Meses Enero 1995
- Tabla nº 10.42.- Salida agua depurada (con decantación secundaria). Meses de Diciembre de 1994 y Enero de 1995
- Tabla nº 10.43.- Caudales de agua de proceso y aire de proceso. Meses Diciembre y Enero
- Tabla nº 10.44.- Observaciones mes Diciembre 1994
- Tabla nº 10.45.- Observaciones mes Enero 1995
- Tabla nº 10.46.- Rendimientos del decantador primario. Diciembre 1994 y Enero 1995
- Tabla nº 10.47.- Rendimientos del filtro biológico. Diciembre 1994 y Enero 1995
- Tabla nº 10.48.- Rendimientos totales del proceso. Diciembre 1994 y Enero 1995
- Tabla nº 10.49.- Rendimientos y carga orgánica de entrada (kg DBO/m³.d). Diciembre 1994 y Enero 1995
- Tabla nº 10.50.- Rendimientos y carga sólidos de entrada (kg SS/m³.d). Diciembre y Enero

- Tabla nº 10.51.- Rendimientos y carga hidráulica ($m^3/m^2.d$). Diciembre y Enero
- Tabla nº 10.52.- Rendimientos y caudal de aire de proceso. Diciembre 94 y Enero 95
- Tabla nº 10.53.- Rendimientos del proceso. Diciembre 1994
- Tabla nº 10.54.- Rendimientos del proceso. Enero 1995
- Tabla nº 10.55.- Lavados. Diciembre 1994
- Tabla nº 10.56.- Lavados. Enero 1995

Tabla 10.40.- Relleno cerámico. 1ª fase. Datos agua de entrada y salida tras la decantación primaria. Mes Diciembre 1994. DBO, DQO y SS en mg/l.

Día	Agua bruta				Agua salida decantación primaria			
	pH	DBO	DQO	SS	pH	DBO	DQO	SS
1	7,6	225	405	164	7,9	150	305	68
2	7,5	265	482	219	7,9	170	342	95
3	7,6	220	400	198	7,8	165	344	121
4	7,6	270	404	168	7,7	140	306	56
5	7,4	220	484	226	7,7	185	353	108
6	7,4	310	402	284	7,7	140	341	104
7	7,4	260	447	196	7,7	150	296	108
8	7,4	270	411	172	7,6	145	340	100
9	7,5	200	369	145	7,6	145	305	77
10	7,5	245	448	184	7,7	140	294	100
11	7,4	284	375	162	7,7	170	301	76
12	7,6	250	450	186	7,7	180	336	118
13	7,6	270	503	186	7,8	160	336	94
14	7,5	290	474	248	7,8	160	371	94
15	7,8	306	374	144	7,8	240	332	94
16	7,7	205	372	141	7,6	165	331	89
17	7,7	225	410	150	7,7	120	246	91
18	7,7	310	415	252	7,7	200	281	74
19	7,7	310	540	222	7,7	190	374	82
20	7,7	290	539	350	7,8	200	387	86
21	7,8	255	462	206	7,8	175	361	64
22	7,7	230	415	258	7,9	170	347	82
23	7,6	225	410	249	7,8	120	246	93
24	7,8	230	420	175	7,8	170	346	105
25	7,8	340	410	198	7,8	270	289	116
26	7,6	230	423	178	7,7	210	325	64
27	7,8	195	460	162	7,7	85	432	88
28	7,9	245	445	194	7,8	170	340	106
29	7,9	270	376	122	7,8	150	339	72
30	7,8	205	375	123	7,8	165	278	75
31	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 10.41.- Datos agua de entrada agua bruta y salida de la decantación primaria. Mes Enero 1995. DBO, DQO y SS en mg/l.

Día	Agua bruta				Agua salida decantación primaria			
	pH	DBO	DQO	SS	pH	DBO	DQO	SS
1	7,7	310	490	198	7,8	175	235	55
2	7,8	260	550	170	8	130	220	55
3	8	260	529	238	7,9	155	234	47
4	7,7	200	457	200	7,8	150	194	41
5	7,6	255	536	158	7,9	155	228	62
6	7,7	260	607	276	7,8	150	321	74
7	7,7	210	490	189	7,6	170	264	56
8	7,5	260	548	173	7,6	130	233	68
9	7,2	310	490	200	7,3	180	269	59
10	7,7	385	702	352	7,8	308	521	124
11	7,7	260	605	274	7,9	200	438	87
12	7,6	210	487	187	7,7	210	381	68
13	7,6	280	538	174	7,8	210	397	77
14	7,6	275	534	171	7,7	170	336	119
15	7,8	210	486	184	7,9	150	304	8
16	8,3	285	536	230	8,1	230	346	61
17	7,9	270	553	230	7,8	190	364	65
18	7,8	295	536	226	8	175	389	63
19	7,8	250	499	150	8	150	314	49
20	7,7	235	427	234	7,7	140	312	53
21	7,7	245	450	186	7,9	145	311	59
22	7,7	235	431	187	7,7	140	314	106
23	7,7	215	528	196	7,6	130	402	71
24	7,8	330	596	188	7,8	200	449	82
25	7,6	190	601	202	7,6	160	463	87
26	7,7	345	624	212	7,8	205	464	82
27	7,3	270	630	232	7,4	160	462	83
28	7,8	340	620	218	7,9	205	445	72
29	7,7	340	621	223	7,6	205	443	75
30	7,8	230	622	222	7,8	190	432	76
31	7,7	335	613	217	7,8	200	449	71

Tabla 10.42.- Datos agua depurada con decantación secundaria. Meses Diciembre y Enero. DBO, DQO y SS en mg/l.

Día	Diciembre				Enero			
	pH	DBO	DQO	SS	pH	DBO	DQO	SS
1	8	125	261	55	8	100	235	55
2	8	115	241	63	8,1	75	220	55
3	8,2	130	274	88	8,1	100	234	47
4	7,9	100	229	35	7,8	85	194	41
5	8,3	135	268	69	7,9	95	228	62
6	7,8	75	201	49	8,5	85	321	74
7	7,9	75	262	48	8,3	110	264	56
8	7,9	65	172	42	8,2	80	233	68
9	7,8	70	163	34	8,2	120	269	59
10	7,9	70	161	46	8,5	285	521	124
11	8	90	176	36	8,5	180	438	87
12	8	100	205	61	8,3	170	381	68
13	8	100	204	53	8,3	175	397	77
14	8,3	95	237	49	8,4	130	336	119
15	8,3	160	234	58	8,3	115	304	48
16	8,2	110	233	53	8,4	190	346	61
17	8	75	163	49	8,4	155	364	65
18	8	125	187	42	8,4	145	389	63
19	8	105	224	41	8,2	120	314	49
20	8	110	231	42	8,3	115	312	53
21	8,1	90	206	27	8,3	125	311	59
22	8,1	95	217	41	8,3	125	314	106
23	7,8	57	132	38	8,4	110	402	71
24	7,8	85	189	50	8,5	175	449	82
25	7,7	160	179	63	8,5	140	463	87
26	7,9	120	201	31	8,5	180	464	82
27	8,3	40	246	32	8,5	140	462	83
28	8,1	95	214	54	8,5	180	445	72
29	8,2	90	226	36	8,6	185	443	75
30	8,3	95	247	37	8,5	170	432	76
31	-	-	-	-	8,5	180	449	71

Tabla 10.43.- Caudales de agua de proceso (l/h) y aire de proceso (l/h). Meses Diciembre 1994 y Enero 1995.

Dia	Caudal agua (l/h)		Caudal de aire (l/h)	
	Diciembre	Enero	Dicimebre	Enero
1	100	70	80	75
2	100	70	80	75
3	100	70	80	75
4	100	70	80	75
5	30	70	50	75
6	30	70	50	75
7	30	70	50	75
8	60	70	70	75
9	60	70	70	75
10	60	90	70	80
11	60	90	70	80
12	60	90	70	80
13	40	90	50	80
14	40	90	50	80
15	40	90	50	80
16	40	90	50	80
17	50	90	50	80
18	50	90	50	80
19	50	90	50	80
20	50	90	50	80
21	50	110	50	90
22	50	110	70	90
23	50	110	70	90
24	50	110	70	90
25	50	110	70	90
26	50	110	70	90
27	50	110	70	90
28	50	110	70	90
29	50	110	70	90
30	50	110	70	90
31	-	110	-	90

Tabla 10.44.- Observaciones mes de Diciembre 1994

Día	Diciembre
1	Se comienza a trabajar con el relleno cerámico. 1ª fase
2	
3	Se observa que aparece biopelícula
4	Lavado
5	
6	
7	Lavado
8	
9	Lavado
10	
11	Lavado
12	
13	Lavado
14	
15	
16	Lavado
17	
18	Lavado
19	
20	Se observa que empieza a colmatarse y los lavados deben ser muy agresivos
21	Lavado
22	Lavado
23	Lavado. Muy colmatada
24	Lavado
25	Lavado
26	Lavado
27	Lavado. Muy colmatada. No se consiguen lavados eficaces que eliminen toda la biopelícula
28	Lavado
29	Lavado. Muy colmatado. El lavado no parece eficaz
30	Lavado
31	Se extrae el relleno que está muy colmatado

Tabla 10.45.-. Observaciones mes de Enero 1995.

Día	Enero
1	Se comienza a trabajar con nuevo relleno
2	Lavado
3	Lavado
4	Lavado
5	Lavado
6	Lavado
7	Lavado
8	Lavado
9	Lavado
10	Lavado. Hay que lavar cada 12 horas
11	Lavado
12	Lavado
13	Lavado. Comienza a colmatarse de nuevo
14	Lavado
15	Lavado. Los lavados se hacen difíciles
16	Lavado
17	Lavado.
18	Lavado
19	Lavado
20	Lavado
21	Lavado
22	Lavado
23	Lavado
24	Lavado. Colmatación del lecho
25	Lavado
26	Lavado. Muy colmatada
27	Lavado
28	Lavado. Muy colmatada
29	Lavado
30	Lavado
31	Se deja de trabajar con este relleno por sus problemas de lavado

Tabla 10.46.- Rendimientos del decantador primario. Diciembre 1994 y Enero 95.

Dia	Diciembre			Enero		
	DBO	DQO	SS	DBO	DQO	SS
1	33	25	59	44	22	49
2	36	29	57	50	36	28
3	25	14	39	40	36	64
4	48	24	67	25	30	59
5	16	27	52	39	34	29
6	55	15	63	42	13	47
7	42	34	45	19	21	48
8	46	17	42	50	35	30
9	28	17	47	42	22	51
10	43	34	46	20	21	60
11	39	20	53	23	20	61
12	28	25	37	25	5	52
13	41	33	49	25	13	41
14	45	22	62	38	20	40
15	22	11	35	29	20	61
16	20	11	37	19	24	64
17	47	40	39	30	21	53
18	35	32	71	41	15	64
19	39	31	63	40	24	53
20	31	28	75	40	14	69
21	31	22	69	41	21	60
22	26	16	68	40	20	27
23	47	40	63	40	12	53
24	26	18	40	39	15	47
25	21	30	41	16	13	46
26	9	23	64	41	17	51
27	56	6	46	41	18	53
28	31	24	45	40	20	60
29	44	10	41	40	22	60
30	20	26	39	17	21	58
31	-	-	-	40	20	60

Tabla 10.47.- Rendimientos del filtro biológico. Diciembre 94 y Enero 95

Día	Diciembre			Enero		
	DBO	DQO	SS	DBO ₅	DQO	SS
1	17	14	19	43	39	45
2	32	30	34	42	38	55
3	21	20	27	35	31	45
4	21	25	38	43	40	50
5	27	24	36	39	35	45
6	46	41	53	43	40	49
7	50	45	56	35	32	43
8	55	49	58	38	34	44
9	52	47	56	33	29	40
10	50	45	54	7	6	12
11	47	42	53	10	9	19
12	44	39	48	19	18	24
13	38	33	44	17	15	25
14	41	36	48	24	21	30
15	33	30	38	23	22	33
16	33	30	44	17	15	26
17	38	34	46	18	17	24
18	38	33	43	17	15	23
19	45	40	50	20	18	30
20	45	40	51	18	15	26
21	49	43	58	14	12	21
22	44	37	50	11	9	23
23	53	46	59	15	13	23
24	50	45	52	13	11	18
25	41	38	46	13	11	21
26	43	38	52	12	10	21
27	53	43	64	13	11	23
28	44	37	49	12	10	17
29	40	33	50	10	8	16
30	42	11	51	11	12	19
31	-	-	-	10	8	17

Tabla 10.48.- Rendimientos totales del proceso. Diciembre 94 y Enero 95

Dia	Diciembre			Enero		
	DBO ₅	DOO	SS	DBO ₅	DOO	SS
1	44	36	59	68	52	72
2	57	50	57	71	60	68
3	41	32	39	62	56	80
4	63	43	67	58	58	80
5	39	45	52	63	57	61
6	76	50	63	67	47	73
7	71	64	45	48	46	70
8	76	58	42	69	57	61
9	65	56	47	61	45	71
10	71	64	46	26	26	65
11	68	53	53	31	28	68
12	60	54	37	19	22	64
13	63	55	49	38	26	56
14	67	50	62	53	37	30
15	48	37	35	45	37	74
16	46	37	37	33	35	73
17	67	60	39	43	34	72
18	60	55	71	51	27	72
19	66	59	63	52	37	67
20	62	57	75	51	27	77
21	65	55	69	49	31	68
22	59	48	68	47	27	43
23	75	68	63	49	24	64
24	63	55	40	47	25	56
25	53	56	41	46	23	57
26	48	52	64	48	26	61
27	79	47	46	48	27	64
28	61	52	45	47	28	67
29	67	40	41	46	29	66
30	54	34	39	26	31	66
31	-	-	-	46	27	67

Tabla 10.49.- Rendimientos del filtro biológico y cargas DBO/m3.d. Diciembre 94 y Enero 95

Día	Diciembre				Enero			
	Carga	DBO	DQO	SS	Carga	DBO	DQO	SS
1	2,83	17	14	19	2,31	43	39	45
2	3,21	32	30	34	1,72	42	38	55
3	3,11	21	20	27	2,05	35	31	45
4	2,64	21	25	38	1,98	43	40	50
5	1,05	27	24	36	2,05	39	35	45
6	0,79	46	41	53	1,98	43	40	49
7	0,85	50	45	56	2,24	35	32	43
8	1,64	55	49	58	1,72	38	34	44
9	1,64	52	47	56	2,38	33	29	40
10	1,58	50	45	54	5,23	7	6	12
11	1,92	47	42	53	3,40	10	9	19
12	2,04	44	39	48	3,57	19	18	24
13	1,21	38	33	44	3,57	17	15	25
14	1,21	41	36	48	2,89	24	21	30
15	1,81	33	30	38	2,55	23	22	33
16	1,24	33	30	40	3,90	17	15	26
17	1,13	38	34	46	3,23	18	17	24
18	1,89	38	33	43	2,97	17	15	23
19	1,79	45	40	50	2,55	20	18	30
20	1,89	45	40	51	2,38	18	15	26
21	1,65	49	43	58	3,01	14	12	21
22	1,60	44	37	50	2,90	11	9	23
23	1,13	53	46	59	2,70	15	13	23
24	1,60	50	45	52	4,15	13	11	18
25	2,55	41	38	46	3,32	13	11	21
26	1,98	43	38	52	4,25	12	10	21
27	0,80	53	43	64	3,32	13	11	23
28	1,60	44	37	49	4,25	12	10	17
29	1,41	40	33	50	4,25	10	8	16
30	1,56	42	11	51	3,94	11	12	19
31	-	-	-	-	4,15	10	8	17

Tabla 10.50.- Rendimientos del filtro biológico y cargas SS/m3.d. Diciembre 94 y Enero 95.

Dia	Diciembre				Enero			
	Carga	DBO	DQO	SS	Carga	DBO	DQO	SS
1	1,28	17	14	19	1,32	43	39	45
2	1,79	32	30	34	1,61	42	38	55
3	2,28	21	20	27	1,14	35	31	45
4	1,06	21	25	38	1,08	43	40	50
5	0,61	27	24	36	1,48	39	35	45
6	0,59	46	41	53	1,93	43	40	49
7	0,61	50	45	56	1,31	35	32	43
8	1,13	55	49	58	1,60	38	34	44
9	0,87	52	47	56	1,29	33	29	40
10	1,13	50	45	54	2,39	7	6	12
11	0,86	47	42	53	1,83	10	9	19
12	1,34	44	39	48	1,53	19	18	24
13	0,71	38	33	44	1,73	17	15	25
14	0,71	41	36	48	2,90	24	21	30
15	0,71	33	30	38	1,22	23	22	33
16	0,67	33	30	40	1,39	17	15	26
17	0,86	38	34	46	1,46	18	17	24
18	0,70	38	33	43	1,39	17	15	23
19	0,77	45	40	50	1,19	20	18	30
20	0,81	45	40	51	1,22	18	15	26
21	0,60	49	43	58	1,56	14	12	21
22	0,77	44	37	50	2,84	11	9	23
23	0,88	53	46	59	1,91	15	13	23
24	0,99	50	45	52	2,07	13	11	18
25	1,09	41	38	46	2,28	13	11	21
26	0,60	43	38	52	2,16	12	10	21
27	0,83	53	43	64	2,24	13	11	23
28	1,00	44	37	49	1,81	12	10	17
29	0,68	40	33	50	1,85	10	8	16
30	0,71	42	11	51	1,95	11	12	19
31	-	-	-	-	1,78	10	8	17

Tabla 10.51.- Rendimientos del filtro biológico y cargas hidráulicas m³/m².d. Diciembre 94 y Enero 95.

Día	Diciembre				Enero			
	Carga	DBO	DQO	SS	Carga	DBO	DQO	SS
1	1,41	17	14	19	0,99	43	39	45
2	1,41	32	30	34	0,99	42	38	55
3	1,41	21	20	27	0,99	35	31	45
4	1,41	21	25	38	0,99	43	40	50
5	0,42	27	24	36	0,99	39	35	45
6	0,42	46	41	53	0,99	43	40	49
7	0,42	50	45	56	0,99	35	32	43
8	0,85	55	49	58	0,99	38	34	44
9	0,85	52	47	56	0,99	33	29	40
10	0,85	50	45	54	1,27	7	6	12
11	0,85	47	42	53	1,27	10	9	19
12	0,85	44	39	48	1,27	19	18	24
13	0,57	38	33	44	1,27	17	15	25
14	0,57	41	36	48	1,27	24	21	30
15	0,57	33	30	38	1,27	23	22	33
16	0,57	33	30	40	1,27	17	15	26
17	0,71	38	34	46	1,27	18	17	24
18	0,71	38	33	43	1,27	17	15	23
19	0,71	45	40	50	1,27	20	18	30
20	0,71	45	40	51	1,27	18	15	26
21	0,71	49	43	58	1,56	14	12	21
22	0,71	44	37	50	1,56	11	9	23
23	0,71	53	46	59	1,56	15	13	23
24	0,71	50	45	52	1,56	13	11	18
25	0,71	41	38	46	1,56	13	11	21
26	0,71	43	38	52	1,56	12	10	21
27	0,71	53	43	64	1,56	13	11	23
28	0,71	44	37	49	1,56	12	10	17
29	0,71	40	33	50	1,56	10	8	16
30	0,71	42	11	51	1,56	11	12	19
31	-	-	-	-	1,56	10	8	17

Tabla 10.52.- Rendimientos del filtro biológico y caudales de aire de proceso (l/h). Diciembre 94 y Enero 95.

Día	Diciembre				Enero			
	Caudal	DBO	DQO	SS	Caudal	DBO	DQO	SS
1	80	17	14	19	75	43	39	45
2	80	32	30	34	75	42	38	55
3	80	21	20	27	75	35	31	45
4	80	21	25	38	75	43	40	50
5	50	27	24	36	75	39	35	45
6	50	46	41	53	75	43	40	49
7	50	50	45	56	75	35	32	43
8	70	55	49	58	75	38	34	44
9	70	52	47	56	75	33	29	40
10	70	50	45	54	80	7	6	12
11	70	47	42	53	80	10	9	19
12	70	44	39	48	80	19	18	24
13	50	38	33	44	80	17	15	25
14	50	41	36	48	80	24	21	30
15	50	33	30	38	80	23	22	33
16	50	33	30	40	80	17	15	26
17	50	38	34	46	80	18	17	24
18	50	38	33	43	80	17	15	23
19	50	45	40	50	80	20	18	30
20	50	45	40	51	80	18	15	26
21	50	49	43	58	90	14	12	21
22	70	44	37	50	90	11	9	23
23	70	53	46	59	90	15	13	23
24	70	50	45	52	90	13	11	18
25	70	41	38	46	90	13	11	21
26	70	43	38	52	90	12	10	21
27	70	53	43	64	90	13	11	23
28	70	44	37	49	90	12	10	17
29	70	40	33	50	90	10	8	16
30	70	42	11	51	90	11	12	19
31	-	-	-	-	90	10	8	17

Tabla 10.53.- Rendimientos del proceso. Diciembre de 1994

Día	Decantación primaria			Filtro biológico			Total		
	DBO ₅	DQO	SS	DBO ₅	DQO	SS	DBO ₅	DQO	S
1	33	25	59	17	14	19	44	36	
2	36	29	57	32	30	34	57	50	7
3	25	14	39	21	20	27	41	32	56
4	48	24	67	29	25	38	63	43	79
5	16	27	52	27	24	36	39	45	69
6	55	15	63	46	41	53	76	50	83
7	42	34	45	50	45	56	71	64	76
8	46	17	42	55	49	58	76	58	76
9	28	17	47	52	47	56	65	56	77
10	43	34	46	50	45	54	71	64	75
11	39	20	53	47	42	53	68	53	78
12	28	25	37	44	39	48	60	54	67
13	41	33	49	38	33	44	63	55	72
14	45	22	62	41	36	48	67	50	80
15	22	11	35	33	30	38	48	37	60
16	20	11	37	33	30	40	46	37	62
17	47	40	39	38	34	46	67	60	67
18	35	32	71	38	33	43	60	55	83
19	39	31	63	45	40	50	66	59	82
20	31	28	75	45	40	51	62	57	88
21	31	22	69	49	43	58	65	55	87
22	26	16	68	44	37	50	59	48	84
23	47	40	63	53	46	59	75	68	85
24	26	18	40	50	45	52	63	55	71
25	21	30	41	41	38	46	53	56	68
26	9	23	64	43	38	52	48	52	83
27	56	6	46	53	43	64	79	47	80
28	31	24	45	44	37	49	61	52	72
29	44	10	41	40	33	50	67	40	70
30	20	26	39	42	11	51	54	34	70
31	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 10.53.- Rendimientos del proceso. Diciembre de 1994

Día	Decantación primaria			Filtro biológico			Total		
	DBO ₅	DQO	SS	DBO ₅	DQO	SS	DBO ₅	DQO	S
1	33	25	59	17	14	19	44	36	
2	36	29	57	32	30	34	57	50	7
3	25	14	39	21	20	27	41	32	56
4	48	24	67	29	25	38	63	43	79
5	16	27	52	27	24	36	39	45	69
6	55	15	63	46	41	53	76	50	83
7	42	34	45	50	45	56	71	64	76
8	46	17	42	55	49	58	76	58	76
9	28	17	47	52	47	56	65	56	77
10	43	34	46	50	45	54	71	64	75
11	39	20	53	47	42	53	68	53	78
12	28	25	37	44	39	48	60	54	67
13	41	33	49	38	33	44	63	55	72
14	45	22	62	41	36	48	67	50	80
15	22	11	35	33	30	38	48	37	60
16	20	11	37	33	30	40	46	37	62
17	47	40	39	38	34	46	67	60	67
18	35	32	71	38	33	43	60	55	83
19	39	31	63	45	40	50	66	59	82
20	31	28	75	45	40	51	62	57	88
21	31	22	69	49	43	58	65	55	87
22	26	16	68	44	37	50	59	48	84
23	47	40	63	53	46	59	75	68	85
24	26	18	40	50	45	52	63	55	71
25	21	30	41	41	38	46	53	56	68
26	9	23	64	43	38	52	48	52	83
27	56	6	46	53	43	64	79	47	80
28	31	24	45	44	37	49	61	52	72
29	44	10	41	40	33	50	67	40	70
30	20	26	39	42	11	51	54	34	70
31	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 10.53.- Rendimientos del proceso. Diciembre de 1994

Día	Decantación primaria			Filtro biológico			Total		
	DBO ₅	DQO	SS	DBO ₅	DQO	SS	DBO ₅	DQO	S
1	33	25	59	17	14	19	44	36	
2	36	29	57	32	30	34	57	50	7
3	25	14	39	21	20	27	41	32	56
4	48	24	67	29	25	38	63	43	79
5	16	27	52	27	24	36	39	45	69
6	55	15	63	46	41	53	76	50	83
7	42	34	45	50	45	56	71	64	76
8	46	17	42	55	49	58	76	58	76
9	28	17	47	52	47	56	65	56	77
10	43	34	46	50	45	54	71	64	75
11	39	20	53	47	42	53	68	53	78
12	28	25	37	44	39	48	60	54	67
13	41	33	49	38	33	44	63	55	72
14	45	22	62	41	36	48	67	50	80
15	22	11	35	33	30	38	48	37	60
16	20	11	37	33	30	40	46	37	62
17	47	40	39	38	34	46	67	60	67
18	35	32	71	38	33	43	60	55	83
19	39	31	63	45	40	50	66	59	82
20	31	28	75	45	40	51	62	57	88
21	31	22	69	49	43	58	65	55	87
22	26	16	68	44	37	50	59	48	84
23	47	40	63	53	46	59	75	68	85
24	26	18	40	50	45	52	63	55	71
25	21	30	41	41	38	46	53	56	68
26	9	23	64	43	38	52	48	52	83
27	56	6	46	53	43	64	79	47	80
28	31	24	45	44	37	49	61	52	72
29	44	10	41	40	33	50	67	40	70
30	20	26	39	42	11	51	54	34	70
31	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 10.54.- Rendimientos del proceso. Enero 1995

Dia	Decantación primaria			Filtro biológico			Total		
	DBO ₅	DQO	SS	DBO ₅	DQO	SS	DBO ₅	DQO	SS
1	44	22	49	43	22	49	68	52	72
2	50	36	28	42	36	28	71	60	68
3	40	36	64	35	36	64	62	56	80
4	25	30	59	43	30	59	58	58	80
5	39	34	29	39	34	29	63	57	61
6	42	13	47	43	13	47	67	47	73
7	19	21	48	35	21	48	48	46	70
8	50	35	30	38	35	30	69	57	61
9	42	22	51	33	22	51	61	45	71
10	20	21	60	7	21	60	26	26	65
11	23	20	61	10	20	61	31	28	68
12	25	24	52	19	30	52	19	22	64
13	25	13	41	17	13	41	38	26	56
14	38	20	30	24	20	40	53	37	30
15	29	20	61	23	20	61	45	37	74
16	19	24	64	17	24	64	33	35	73
17	30	21	63	18	21	63	43	34	72
18	41	15	64	17	15	64	51	27	72
19	40	24	53	20	24	53	52	37	67
20	40	14	69	18	14	69	51	27	77
21	41	21	60	14	21	60	49	31	68
22	40	20	27	11	20	27	47	27	43
23	40	12	53	15	12	53	49	24	64
24	39	15	47	13	15	47	47	25	56
25	16	13	46	13	13	46	26	23	57
26	41	17	51	12	17	51	48	26	61
27	41	18	53	13	18	53	48	27	64
28	40	20	60	12	20	60	47	28	67
29	40	22	60	10	22	60	46	29	66
30	17	21	58	11	21	58	26	31	66
31	40	20	60	10	20	60	46	27	67

Tabla 10.55.- Lavados. Diciembre 1994

Di a	n° lavado s	ciclos/ lavado	Caudal agua (l/h)	Caudal aire (l/h)	Tiemp o agua (min)	Tiemp o aire (min)	Volumen agua consumido (l)	Volumen aire consumido (l)	% caudal agua de lavado respecto de proceso
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	1	2	200	100	2/3/2	2/3/0	47	17	1,94
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	1	2	200	100	2/2/2	2/2/0	40	13	5,55
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	1	2	200	100	2/3/2	2/3/0	47	17	3,24
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	1	2	300	100	2/3/2	2/3/0	70	17	4,86
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	1	2	300	100	2/3/2	2/3/2	70	17	7,29
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	1	2	300	100	2/3/2	2/3/2	70	17	7,29
17	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	1	2	300	100	2/3/2	2/3/2	70	17	5,83
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	1	3	500	100	2/3/2	2/3/2	175	25	14,58
21	1	3	500	100	2/3/2	2/3/2	175	25	14,58
22	1	3	500	100	2/3/2	2/3/2	175	25	14,58
23	1	3	500	100	2/3/2	2/3/2	175	25	14,58
24	1	4	500	100	2/3/2	2/3/2	233	33	19,44
25	1	4	500	100	2/3/2	2/3/2	233	33	19,44
26	1	4	500	100	2/3/2	2/3/2	233	33	19,44
27	1	4	500	100	2/3/2	2/3/2	233	33	19,44
28	1	4	500	100	2/3/2	2/3/2	233	33	19,44
29	1	5	500	100	2/3/2	2/3/2	292	42	24,31
30	1	5	500	100	2/3/2	2/3/2	292	42	24,31
31	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 10.56.- Lavados. Enero 1995

Di a	n° lavado s	ciclos/ lavado	Caudal agua (l/h)	Caudal aire (l/h)	Tiemp o agua (min)	Tiemp o aire (min)	Volumen agua consumido (l)	Volumen aire consumido (l)	% caudal de lavado respecto del de proceso
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	1	2	500	100	2/3/2	2/3/0	117	17	6,94
3	1	2	500	100	2/3/2	2/3/0	117	17	6,94
4	1	2	500	100	2/3/2	2/3/0	117	17	6,94
5	1	2	500	100	2/3/2	2/3/0	117	17	6,94
6	1	2	500	100	2/3/2	2/3/0	117	17	6,94
7	1	2	500	100	2/3/2	2/3/0	117	17	6,94
8	1	2	500	100	2/3/2	2/3/0	117	17	6,94
9	1	2	500	100	2/3/2	2/3/0	117	17	6,94
10	2	3	500	100	2/3/2	2/3/0	350	50	16,20
11	2	3	500	100	2/3/2	2/3/0	350	50	16,20
12	2	3	500	100	2/3/2	2/3/0	350	50	16,20
13	2	3	500	100	2/3/2	2/3/0	350	50	16,20
14	2	3	500	100	2/3/2	2/3/0	350	50	16,20
15	2	3	500	100	2/3/2	2/3/0	350	50	16,20
16	2	3	500	100	2/3/2	2/3/0	350	50	16,20
17	2	3	500	100	2/3/2	2/3/0	350	50	16,20
18	2	3	500	100	2/3/2	2/3/0	350	50	16,20
19	2	3	500	100	2/3/2	2/3/0	350	50	16,20
20	2	3	500	100	2/3/2	2/3/0	350	50	16,20
21	2	3	500	100	2/3/2	2/3/0	350	50	16,20
22	2	4	500	100	2/3/2	2/3/0	467	67	17,68
23	2	4	500	100	2/3/2	2/3/0	467	67	17,68
24	2	4	500	100	2/3/2	2/3/0	467	67	17,68
25	2	4	500	100	2/3/2	2/3/0	467	67	17,68
26	2	4	500	100	2/3/2	2/3/0	467	67	17,68
27	2	4	500	100	2/3/2	2/3/0	467	67	17,68
28	2	4	500	100	2/3/2	2/3/0	467	67	17,68
29	2	4	500	100	2/3/2	2/3/0	467	67	17,68
30	2	4	500	100	2/3/2	2/3/0	467	67	17,68
31	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Un estudio microscópico del fango muestra que la colonización del mismo no es adecuada para los procesos que estamos considerando, predominando las zoogreas, así como gusanos y otras especies microscópicas propias de medios escasos en oxígeno.

Debido a problemas con el automatismo de lavado, estos se realizaban de forma manual, siguiendo las siguientes fases:

1ª Fase de esponjamiento, con agua y aire

2ª Fase de lavado, con agua y aire

3ª Fase de aclarado, sólo con agua

Para el agua de lavado se utiliza la almacenada en un depósito procedente de la depuración de la misma planta piloto.

10.5.7.- Estudio sistemático de resultados

A partir de los datos recogidos en las tablas anteriores, para una mejor visualización y conclusión de los mismos, se han realizado un conjunto de gráficos, que se adjuntan en el Anejo nº 4: *Gráficos. Investigación de fondo*, en los que se recogen tanto los resultados obtenidos, como las relaciones encontradas con los parámetros y variables establecidos previamente para esta investigación. Todo esto se expone en los siguientes apartados.

10.5.7.1.- Rendimientos obtenidos

Los rendimientos obtenidos en DBO_5 , DQO y SS durante los meses de Abril, Mayo y Junio se han recogido en una serie de gráficos, que se adjuntan en el anejo indicado. Estos son los siguientes:

- Gráfico nº 10.71.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 1ª fase. Mes Diciembre 1994. Rendimientos DQO.

- Gráfico nº 10.72.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 1ª fase. Mes Diciembre 1994. Rendimientos DBO_5

- Gráfico nº 10.73.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 1ª fase. Mes Diciembre 1994. Rendimientos SS

- Gráfico nº 10.74.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 1ª fase. Mes Enero 1995. Rendimientos DQO.

- Gráfico nº 10.75.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 1ª fase. Mes Enero 1995. Rendimientos DBO_5

- Gráfico nº 10.76.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 1ª fase. Mes Enero 1995. Rendimientos SS

Los rendimientos medios conseguidos en esta primera fase, se recogen en la siguiente tabla:

Tabla n° 10.57.- Rendimientos relleno cerámico en el filtro biológico. 1ª fase

	MEDIA	MEDIANA	DESVIACION TIPICA	MINIMO	MAXIMO
DQO	27	30	12,980915	6	49
DBO₅	31	35	14,44296	7	55
SS	38	43	14,110593	12	64

Tabla 10.58.- Rendimientos en la decantación primaria. 1ª fase

	MEDIA	MEDIANA	DESVIACION TIPICA	MINIMO	MAXIMO
DQO	21	21	6,577956	12	36
DBO₅	35	40	9,7695613	16	50
SS	53	53	11,238961	27	69

Tabla 10.59.- Rendimientos totales del proceso.Relleno cerámico. 1ª fase

	MEDIA	MEDIANA	DESVIACION TIPICA	MINIMO	MAXIMO
DQO	36	31	12,007368	22	60
DBO₅	48	48	13,239725	19	71
SS	66	67	9,8824517	30	80

10.5.7.2.- Datos de salida. Meses Diciembre y Enero

En los gráficos que se indican a continuación, y que se recogen en el Anejo indicado, se reflejan los datos de salida, tanto en DBO₅, DQO y SS en los dos meses que dura esta primera fase de investigación. Los gráficos indicados son:

- Gráfico n° 10.77.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 1ª fase. Entrada y salida

DQO . Mes Diciembre 1994.

- Gráfico nº 10.78.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 1ª fase. Entrada y salida DBO₅. Mes Diciembre 1994.

- Gráfico nº 10.79.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 1ª fase. Entrada y salida SS. Mes Diciembre 1994.

- Gráfico nº 10.80.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 1ª fase. Entrada y salida DQO. Mes Enero 1995.

- Gráfico nº 10.81.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 1ª fase. Entrada y salida DBO₅. Mes Enero 1995.

- Gráfico nº 10.82.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 1ª fase. Entrada y salida SS. Mes Enero 1995.

- Gráfico nº 10.83.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 1ª fase. Entrada y salida pH. Mes Diciembre 1994

- Gráfico nº 10.84.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 1ª fase. Entrada y salida pH. Mes Enero 1995.

Los valores medios de DQO, DBO₅, SS y pH de salida en esta primera fase con el relleno cerámico son los siguientes:

Tabla 10.60.- Valores de salida. Relleno cerámico. 1ª fase

	MEDIA	MEDIANA	DESVIACIÓN TÍPICA	MINIMO	MAXIMO
DQO	283	241	98,58597	132	521
DBO₅	120	110	42,166789	40	285
SS	59	55	20,152162	27	124
pH	8,18	8,2	0,2359631	7,7	8,6

10.5.7.3.- Relación rendimientos y parámetros establecidos

Se han recogido una serie de gráficos, que se adjuntan en el anejo indicado, en los que se relacionan los rendimientos obtenidos con los distintos parámetros establecidos; esto permitirá estimar los rendimientos que pueden obtenerse en función de la contaminación de entrada.

Estos gráficos son los siguientes:

- Gráfico nº 10.85.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 1ª fase. Rendimientos DQO/carga DBO₅
- Gráfico nº 10.86.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 1ª fase. Rendimientos DBO/carga DBO₅
- Gráfico nº 10.87.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 1ª fase. Rendimientos SS/carga DBO₅
- Gráfico nº 10.88.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 1ª fase. Rendimientos

DQO/carga SS

- Gráfico nº 10.89.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 1ª fase. Rendimientos

DBO₅/carga SS

- Gráfico nº 10.90.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 1ª fase. Rendimientos SS/

carga SS

- Gráfico nº 10.91.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 1ª fase. Rendimientos

DQO/carga hidráulica

- Gráfico nº 10.92.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 1ª fase. Rendimientos

DBO₅/carga hidráulica

- Gráfico nº 10.93.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 1ª fase. Rendimientos

SS/carga hidráulica

- Gráfico nº 10.94.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 1ª fase. DQO de

salida/carga DBO₅

- Gráfico nº 10.95.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 1ª fase. DBO₅ de

salida/carga DBO₅

- Gráfico nº 10.96.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 1ª fase. SS de salida /

carga DBO₅

- Gráfico nº 10.97.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 1ª fase. DQO de

salida/carga SS

- Gráfico nº 10.98.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 1ª fase. DBO₅ de

salida/carga SS

- Gráfico nº 10.99.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 1ª fase. SS de

salida/carga SS

También se ha reflejado gráficamente el porcentaje de eliminación de DQO, DBO₅ y SS en las etapas de la decantación primaria y el tratamiento biológico. Estos son los siguientes gráficos:

- Gráfico nº 10.100.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 1ª fase. Rendimientos del proceso en DQO
- Gráfico nº 10.101.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 1ª fase. Rendimientos del proceso en DBO₅
- Gráfico nº 10.102.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 1ª fase. Rendimientos del proceso en SS

Las relaciones con la variable DQO no se han establecido por la relación existente entre esta y la DBO₅.

10.5.7.4.- Consumos de oxígeno

Se ha estudiado también cuales son las necesidades de aireación, ya que se trataría de un factor muy importante a la hora de evaluar económicamente la explotación de un sistema de lechos biológicos inundados con este tipo de relleno. Para ello se ha relacionado rendimientos medios y consumos de oxígeno. Se han considerado tres intervalos para los caudales de aire de proceso, y en función de estos se recogen los

rendimientos medios obtenidos para la DBO, DQO y SS.

- Gráfico nº 10.103.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. Rendimientos medios en función del caudal de aire de proceso. 1ª fase.

En la tabla nº 10.61 se recogen estos rendimientos medios.

Tabla nº 10.61.- Rendimientos medios en función de caudal de aire de proceso.

	Q < 50 l/h			50 l/h < Q < 80 l/h		
	DQO	DBO	SS	DQO	DBO	SS
Media	36	40	47	38	44	50
Mediana	35	40	45	38	43	50
Desviación típica	5,078385	5,625611	5,7225431	7,6908607	5,929325	5,6170967
Mínimo	24	27	36	11	33	40
Máximo	45	50	58	49	55	64

Tabla nº 10.61 (bis).- Rendimientos medios en función de caudal de aire de proceso.

	Q > 80 l/h		
	DQO	DBO	SS
Media	15	16	24
Mediana	14	16	23
Desviación típica	5,6170967	5,8871287	5,9041907
Mínimo	6	7	12
Máximo	30	32	38

Se ha analizado además la relación entre el caudal de aire aportado y los kg de oxígeno/kg de DBO₅ eliminada. Para ello se ha estimado que el compresor produce aire con 0,286 kg de oxígeno/m³ con un rendimiento del 15%. Se obtiene de esta forma unos valores medios de la relación kg O₂/kg DBO₅ eliminada de 1'05, con un máximo de 2'34 y un mínimo de 0'48; esto se recoge en gráfico 10.104.

10.5.7.5.- Estudio de las necesidades de lavados

Se ha relacionado la contaminación de entrada, carga orgánica en kg DBO/m³.d, con las necesidades de agua de lavado y aire de lavado. Esto se refleja en los gráficos que se indican a continuación y que se adjuntan en el Anejo nº 4 y proporcionan una estimación de los consumos de agua y aire en los procesos de lavado.

- Gráfico nº 10.105.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. Volumen de agua de lavado. 1ª fase

- Gráfico nº 10.106.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. % de agua de lavado respecto al caudal de agua de proceso. 1ª fase

- Gráfico nº 10.107.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. Volumen de aire de lavado. 1ª fase

Las necesidades de aire y agua de lavado medias se reflejan en la siguiente tabla:

Tabla 10.62.- Volúmenes de aire y agua de lavado

	MEDIA	MEDIANA	DESVIACION TÍPICA	MINIMO	MAXIMO
Volumen agua (l)	260	233	143,256733	40	467
Volumen aire (l)	39	33	18,9752	13	67
% agua de lavado respecto de proceso	13,75	16,203	5,659846	1,94	24,305

B) SEGUNDA FASE: GRANULOMETRIA 5 A 7 mm, SIN IMPERMEABILIZAR, ALTURA DE FILTRO 1,80 m, ALIMENTACION AGUA DE PROCESO INFERIOR

10.5.8.- Resultados analíticos y estudio sistemático de resultados

En esta fase, que se prolongó durante el mes de Febrero, no se consiguió un correcto funcionamiento de la planta piloto. Si en la fase anterior la biopelícula atrapada en el relleno era difícil de eliminar, en esta fase, al realizar alimentación inferior del lecho, la biopelícula se formaba en el fondo del lecho, por lo que era **imposible** eliminar los gruesos filamentos de biomasa atrapada en el relleno. Esta biopelícula, además, se formaba con gran rapidez, por lo que se necesitaban lavados muy frecuentes, normalmente cada 24 horas, pero con estos no se conseguía una limpieza del lecho por lo que a los cuatro-cinco días de funcionamiento el lecho estaba completamente colmatado por la parte inferior, se formaban algunos caminos preferenciales por los que

escapaba parte del agua de proceso, pero la mayor parte del lecho se quedaba seco. A pesar de introducir caudales importantes de agua y aire de lavado no se consiguieron resultados.

**C) TERCERA FASE: GRANULOMETRIA 2 A 5 mm,
IMPERMEABILIZADO, ALTURA DE FILTRO 1,80 m,
ALIMENTACION AGUA DE PROCESO SUPERIOR**

10.5.9.- Resultados analíticos y estudio sistemático de resultados

Al comenzar a trabajar con relleno impermeabilizado surgió un grave problema: **la formación de espumas**, pero en un volumen tal que hacía imposible el funcionamiento correcto del lecho. Se observó como esta formación de espumas aumentaba, hasta incluso salirse por la parte superior de la columna, cuando incrementábamos el caudal de aire. Con caudales mayores de 20 l/h, se producían espumas, y estos caudales son insuficientes para conseguir una correcta aireación del lecho, por lo que no se consiguió rendimiento alguno.

Un estudio del relleno mostró como a medida que pasaban los días y aumentaba el tiempo de contacto con el agua residual y se mantenía la aireación prolongada del lecho, la película impermeabilizadora se iba perdiendo. Si al principio se consiguió prácticamente una impermeabilización total, poco a poco las densidades saturadas iban

aumentando, de forma que al los quince días de funcionamiento se encontraba aproximadamente en 2,5.

**D) CUARTA FASE: GRANULOMETRIA 2 A 5 mm,
IMPERMEABILIZADO, ALTURA DE FILTRO 1,80 m,
ALIMENTACION AGUA DE PROCESO INFERIOR**

10.5.10.- Resultados analíticos y estudio sistemático de resultados

A pesar de los resultados obtenidos en la fase exterior, se anterior se extrajo el relleno y volvió a introducirse uno nuevo completamente impermeabilizado. Se volvió a proceder de la misma forma que en la fase anterior pero introduciendo en este caso el agua de proceso por la parte inferior. Los resultados obtenidos fueron los mismos: **la formación de espumas**, en un volumen tan que hacía imposible el funcionamiento correcto del lecho. De nuevo esta formación de espumas aumentaba, hasta incluso salirse por la parte superior de la columna, cuando incrementábamos el caudal de aire. Con caudales mayores de 20 l/h, se producían espumas, y estos caudales son insuficientes para conseguir una correcta aireación del lecho, por lo que de nuevo no se consiguió rendimiento alguno.

Se realizó de nuevo un estudio del relleno, mostrando de nuevo como a medida que pasaban los días y aumentaba el tiempo de contacto con el agua residual y se

mantenía la aireación prolongada del lecho, la película impermeabilizadora se iba perdiendo. Si al principio se consiguió prácticamente una impermeabilización total, poco a poco las densidades saturadas iban aumentando, de forma que al mes de funcionamiento se encontraba aproximadamente en 2,5.

Estas dos últimas fases se realizaron a lo largo del mes de Marzo.

E) QUINTA FASE: GRANULOMETRIA DE 2 A 5 mm, RELLENO SIN IMPERMEABILIZAR, ALTURA DE FILTRO 1'80 m, ALIMENTACION SUPERIOR DE AGUA DE PROCESO

10.5.11.- Resultados analíticos

En este apartado se van a recoger las siguientes tablas:

- Tabla nº 10.63.- Entrada agua bruta y decantada. Mes de Abril de 1995
- Tabla nº 10.64.- Entrada agua bruta y decantada. Meses Mayo 1995
- Tabla nº 10.65.- Salida agua depurada (con decantación secundaria). Meses de Abril y Mayo de 1995
- Tabla nº 10.66.- Caudales de agua de proceso y aire de proceso. Meses Abril y Mayo de 1995
- Tabla nº 10.67.- Observaciones mes Abril 1995

- Tabla nº 10.68.- Observaciones mes Mayo 1995
- Tabla nº 10.69.- Rendimientos del decantador primario. Abril y Mayo de 1995
- Tabla nº 10.70.- Rendimientos del filtro biológico. Abril y Mayo de 1995
- Tabla nº 10.71.- Rendimientos totales del proceso. Abril y Mayo de 1995
- Tabla nº 10.72.- Rendimientos y carga orgánica de entrada (kg DBO/m³.d). Abril y Mayo de 1995
- Tabla nº 10.73.- Rendimientos y carga sólidos de entrada (kg SS/m³.d). Abril y Mayo de 1995
- Tabla nº 10.74.- Rendimientos y carga hidraulica (m³/m².d). Abril y Mayo de 1995
- Tabla nº 10.75.- Rendimientos y caudal de aire de proceso. Abril y Mayo de 1995
- Tabla nº 10.76.- Rendimientos del proceso. Abril 1995
- Tabla nº 10.77.- Rendimientos del proceso. Mayo 1995
- Tabla nº 10.78.- Lavados. Abril 1995
- Tabla nº 10.79.- Lavados. Mayo 1995

Tabla n° 10.63.- Datos agua de entrada y salida tras la decantación primaria. Mes Abril 1995. DBO, DQO y SS en mg/l.

Dia	Agua bruta				Agua salida decantación primaria			
	pH	DBO	DQO	SS	pH	DBO	DQO	SS
1	7,8	305	753	208	7,7	215	565	83
2	7,9	310	754	212	7,7	210	450	76
3	7,7	280	715	280	7,7	230	469	92
4	7,6	310	641	146	7,5	217	486	88
5	7,7	310	776	200	7,7	240	560	100
6	7,9	280	703	190	7,7	195	665	86
7	7,8	275	694	197	7,6	190	530	79
8	7,8	270	679	193	7,7	190	498	77
9	7,8	270	689	210	7,6	230	512	94
10	7,9	240	570	226	7,7	160	477	100
11	7,8	255	644	212	7,6	180	464	86
12	7,7	300	751	215	7,7	210	561	86
13	7,7	305	753	217	7,6	215	562	87
14	7,8	285	712	204	7,6	200	536	82
15	7,8	255	642	283	7,7	180	480	71
16	7,8	260	648	243	7,7	180	487	94
17	7,7	210	656	230	7,8	140	494	90
18	7,9	310	769	190	7,9	240	578	108
19	7,9	350	779	270	7,9	210	526	104
20	8	280	705	240	7,9	195	472	96
21	7,9	310	780	230	7,8	215	584	94
22	7,8	280	702	212	7,8	195	531	81
23	8	250	566	188	7,8	200	430	82
24	7,8	235	580	270	7,8	120	467	90
25	7,9	310	791	204	7,8	210	580	86
26	7,8	300	810	220	7,9	190	548	84
27	7,8	295	735	206	7,6	205	484	100
28	7,8	310	780	223	7,7	215	584	90
29	7,8	325	812	234	7,7	225	604	91
30	7,7	295	737	212	7,7	205	551	87

Tabla n° 10.64.- Datos agua de entrada agua bruta y salida de la decantación primaria. Mes Mayo 1995. DBO, DQO y SS en mg/l.

Dia	Agua bruta				Agua salida decantación primaria			
	pH	DBO	DQO	SS	pH	DBO	DQO	SS
1	7,6	315	673	216	7,7	270	526	104
2	7,7	250	623	198	7,8	175	461	74
3	7,9	340	567	212	7,8	210	452	94
4	7,5	340	666	244	7,4	210	511	70
5	7,7	250	620	194	7,7	175	464	75
6	7,7	240	602	193	7,8	170	449	74
7	7,8	270	545	210	7,8	230	462	76
8	7,7	330	744	226	7,7	265	538	104
9	7,6	300	742	214	7,8	210	547	102
10	7,8	370	732	234	7,8	240	481	92
11	7,9	405	800	244	7,7	270	545	108
12	7,7	340	851	242	7,8	235	637	100
13	7,7	365	912	260	7,7	255	682	102
14	7,7	570	1130	278	7,8	280	560	82
15	7,8	360	717	256	7,7	325	652	100
16	7,9	205	405	252	7,8	155	316	82
17	7,8	300	590	350	7,5	195	391	80
18	7,9	400	788	234	7,9	250	503	104
19	7,8	290	725	204	7,8	205	539	81
20	7,8	275	684	199	7,8	195	510	80
21	7,7	315	626	290	7,9	175	349	82
22	7,6	485	959	286	7,9	270	543	116
23	7,7	300	594	258	7,8	235	471	112
24	8	270	542	288	7,9	240	397	94
25	7,8	275	548	202	7,6	240	486	94
26	7,7	215	539	153	7,8	150	402	59
27	7,8	215	538	154	7,8	150	401	62
28	7,7	275	540	160	8,2	170	343	126
29	7,7	300	594	232	7,8	200	398	102
30	7,8	275	543	242	7,8	195	393	106
31	7,8	290	572	196	7,8	245	498	128

Tabla n° 10.65.- Datos agua depurada con decantación secundaria. Meses Abril y Mayo de 1995. DBO, DQO y SS en mg/l.

Dia	Abril				Mayo			
	pH	DBO	DQO	SS	pH	DBO	DQO	SS
1	8	180	498	68	8,3	200	348	51
2	8	155	364	55	8,2	105	299	42
3	8	165	361	63	8,2	140	289	57
4	7,9	125	410	43	8,5	140	359	43
5	8,1	80	228	35	8,2	105	291	37
6	8,1	60	259	25	8,3	100	299	34
7	8	23	113	23	8,4	160	337	45
8	8	23	99	23	8,5	195	421	69
9	7,9	18	91	19	8,4	140	389	64
10	8,1	16	94	19	8,4	170	357	62
11	8	17	87	16	8,4	200	429	75
12	8	18	104	16	8,5	160	451	63
13	8,1	21	114	9	8,5	180	509	68
14	8,1	18	105	9	8,5	210	417	59
15	8	22	105	9	8,5	255	527	76
16	8	49	172	11	8,2	100	218	48
17	8,2	34	159	8	8,3	140	299	55
18	8,3	120	298	33	8,5	195	409	79
19	8,2	105	291	42	8,5	150	412	56
20	8,3	85	234	34	8,3	140	391	54
21	8,4	105	329	41	8,2	120	247	53
22	8,2	85	241	31	8,5	215	448	89
23	8,2	90	224	33	8,4	175	371	82
24	8,2	35	186	20	8,4	180	316	71
25	8,4	100	319	36	8,4	180	384	68
26	8,3	80	274	30	8,2	90	268	36
27	8,3	95	261	42	8,3	90	268	35
28	8,4	105	328	39	8,2	112	228	77
29	8,4	115	345	44	8,3	140	300	69
30	8,3	95	296	34	8,2	135	291	72
31	-	-	-	-	8,5	185	394	94

Tabla n° 10.66.- Caudales de agua de proceso (l/h) y aire de proceso (l/h). Meses Abril y Mayo de 1995.

Dia	Caudal agua (l/h)		Caudal de aire (l/h)	
	Abril	Mayo	Abril	Mayo
1	30	90	20	75
2	30	90	20	75
3	30	90	20	75
4	30	90	20	75
5	30	90	20	75
6	30	90	20	75
7	30	90	20	75
8	30	90	35	75
9	30	90	35	75
10	30	90	35	80
11	30	90	35	80
12	30	90	35	80
13	30	90	35	80
14	30	90	35	80
15	30	90	35	80
16	60	120	50	90
17	60	120	50	90
18	60	120	50	90
19	60	120	50	90
20	60	120	50	90
21	60	120	50	90
22	60	120	50	90
23	60	120	60	95
24	60	120	60	95
25	60	120	60	95
26	60	120	60	95
27	60	120	60	95
28	60	120	60	95
29	60	120	60	95
30	60	120	60	95
31	-	120	-	95

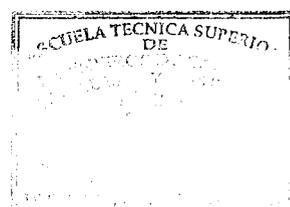


Tabla n° 10.67.-. Observaciones mes de Abril 1995.

Día	Abril
1	Puesta en marcha del sistema con relleno cerámico con granulometría de 2 a 5 mm
2	
3	
4	
5	
6	Lavado
7	
8	Lavado
9	
10	Lavado
11	
12	Lavado
13	
14	Lavado
15	
16	Lavado
17	Lavado
18	Lavado
19	Lavado
20	Lavado
21	Lavado
22	Lavado
23	Lavado
24	Lavado
25	Lavado
26	Lavado
27	Lavado
28	Lavado
29	Lavado
30	Lavado

Tabla n° 10.68.-. Observaciones mes de Mayo 1995.

Día	Mayo
1	Lavado. Comienza a colmatarse
2	Lavado
3	Lavado
4	Lavado
5	Lavado
6	Lavado
7	Lavado
8	Lavado
9	Lavado
10	Lavado
11	Lavado. Aparece ya muy colmatada . Hay que intensificar los lavados
12	Lavado
13	Lavado
14	Lavado
15	Lavado
16	Lavado
17	Lavado
18	Lavado
19	Lavado
20	Lavado
21	Lavado
22	Lavado. Muy colmatada. Los lavados no parecen muy efectivos. Mucha biop biopelícula meelícula
23	Lavado
24	Lavado
25	Lavado
26	Lavado. Mucha biopelícula muerta
27	Lavado
28	Lavado
29	Lavado
30	Lavado. Muy colmatada
31	

Tabla n° 10.69.- Rendimientos del decantador primario. Abril y Mayo de 1995.

Día	Abril			Mayo		
	DBO	DOO	SS	DBO	DOO	SS
1	30	25	60	14	22	52
2	32	40	64	30	26	63
3	18	34	67	38	20	56
4	30	24	40	38	23	71
5	23	28	50	30	25	61
6	30	15	55	29	25	62
7	31	24	60	15	15	64
8	30	27	60	20	28	54
9	15	26	55	30	26	52
10	33	16	56	35	34	61
11	29	28	59	33	32	56
12	30	25	60	31	25	59
13	30	25	60	30	25	61
14	30	25	60	51	50	71
15	29	25	61	10	29	61
16	31	25	62	24	22	67
17	33	25	61	35	34	77
18	23	25	43	38	36	56
19	40	32	61	29	26	60
20	30	33	60	29	25	60
21	31	25	59	44	44	72
22	30	24	62	44	43	59
23	20	24	56	22	21	57
24	49	19	47	11	27	67
25	32	27	58	13	11	53
26	37	32	62	30	25	61
27	31	34	51	30	25	60
28	31	25	60	38	36	21
29	31	26	61	33	33	56
30	31	25	59	29	38	56
31	-	-	-	16	13	35

Tabla n° 10.70.- Rendimientos del filtro biológico. Abril y Mayo 1995

Dia	Abril			Mayo		
	DBO	DQO	SS	DBO ₅	DQO	SS
1	16	12	18	26	34	51
2	26	19	28	40	35	43
3	28	23	32	33	36	39
4	42	16	51	33	30	39
5	67	59	65	40	37	51
6	69	61	71	41	33	54
7	88	79	71	30	27	41
8	88	80	70	26	22	34
9	92	82	80	33	29	37
10	90	80	81	29	26	33
11	91	81	81	26	21	31
12	91	81	81	32	29	37
13	90	80	90	29	25	33
14	91	80	89	25	26	28
15	88	78	87	22	19	24
16	73	65	88	35	31	41
17	76	68	91	28	24	31
18	50	48	69	22	19	24
19	50	45	60	27	24	31
20	56	50	65	28	23	33
21	51	44	56	31	29	35
22	56	55	62	20	17	23
23	55	48	60	26	21	27
24	71	60	78	25	20	24
25	52	45	58	25	21	28
26	58	50	64	40	33	39
27	54	46	58	40	33	44
28	51	44	57	34	34	39
29	49	43	52	30	25	32
30	54	46	61	31	26	32
31	-	-	-	24	21	27

Tabla n° 10.71.- Rendimientos totales del proceso. Abril y Mayo 1995

Dia	Abril			Mayo		
	DBO ₅	DQO	SS	DBO ₅	DQO	SS
1	41	34	67	37	48	76
2	50	52	74	58	52	79
3	41	50	78	59	49	73
4	60	36	71	59	46	82
5	74	71	83	58	53	81
6	79	63	87	58	50	82
7	92	84	88	41	38	79
8	91	85	88	41	43	69
9	93	87	91	53	48	70
10	93	84	92	54	51	74
11	93	86	92	51	46	69
12	94	86	93	53	47	74
13	93	85	96	51	44	74
14	94	85	96	63	63	79
15	91	84	95	29	26	70
16	81	73	96	51	46	81
17	84	76	97	53	49	84
18	61	61	83	51	48	66
19	70	63	84	48	43	73
20	70	67	86	49	43	73
21	66	58	82	62	61	82
22	70	66	85	59	53	69
23	64	60	82	42	38	68
24	85	68	88	33	42	75
25	68	60	82	35	30	66
26	73	66	86	58	50	76
27	68	64	80	58	50	77
28	66	58	83	59	58	52
29	65	58	81	53	49	70
30	68	60	84	51	46	70
31	-	-	-	36	31	52

Tabla n° 10.72.- Rendimientos del filtro biológico y cargas DBO/m3.d. Abril y Mayo 1995

Día	Abril				Mayo			
	Carga	DBO	DQO	SS	Carga	DBO	DQO	SS
1	1,22	16	12	18	4,58	26	34	51
2	1,19	26	19	28	2,97	40	35	43
3	1,30	28	23	32	3,57	33	36	39
4	1,23	42	16	51	3,57	33	30	39
5	1,36	67	59	65	2,97	40	37	51
6	1,10	69	61	71	2,89	41	33	54
7	1,08	88	79	71	3,90	30	27	41
8	1,08	88	80	70	4,50	26	22	34
9	1,30	92	82	80	3,57	33	29	37
10	0,91	90	80	81	4,07	29	26	33
11	1,02	91	81	81	4,58	26	21	31
12	1,19	91	81	81	3,99	32	29	37
13	1,22	90	80	90	4,33	29	25	33
14	1,13	91	80	89	4,75	25	26	28
15	1,02	88	78	87	5,52	22	19	24
16	2,04	73	65	88	3,51	35	31	41
17	1,58	76	68	91	4,41	28	24	31
18	2,72	50	48	69	5,66	22	19	24
19	2,38	50	45	60	4,64	27	24	31
20	2,21	56	50	65	4,41	28	23	33
21	2,43	51	44	56	3,96	31	29	35
22	2,21	56	55	62	6,11	20	17	23
23	2,26	55	48	60	5,32	26	21	27
24	1,36	71	60	78	5,43	25	20	24
25	2,38	52	45	58	4,43	25	21	28
26	2,15	58	50	64	3,40	40	33	39
27	2,32	54	46	58	3,40	40	33	44
28	2,43	51	44	57	3,85	34	34	39
29	2,55	49	43	52	4,53	30	25	32
30	2,32	54	46	61	4,41	31	26	32
31	-	-	-	-	5,55	24	21	27

Tabla n° 10.73.- Rendimientos del filtro biológico y cargas SS/m3.d. Abril y Mayo 1995

Dia	Abril				Mayo			
	Carga	DBO	DQO	SS	Carga	DBO	DQO	SS
1	0,47	16	12	18	1,77	26	34	51
2	0,43	26	19	28	1,26	40	35	43
3	0,52	28	23	32	1,60	33	36	39
4	0,50	42	16	51	1,19	33	30	39
5	0,57	67	59	65	1,27	40	37	51
6	0,49	69	61	71	1,26	41	33	54
7	0,45	88	79	71	1,29	30	27	41
8	0,44	88	80	70	1,77	26	22	34
9	0,53	92	82	80	1,73	33	29	37
10	0,57	90	80	81	1,56	29	26	33
11	0,49	91	81	81	1,83	26	21	31
12	0,49	91	81	81	1,70	32	29	37
13	0,49	90	80	90	1,73	29	25	33
14	0,46	91	80	89	1,39	25	26	28
15	0,40	88	78	87	1,70	22	19	24
16	1,06	73	65	88	1,86	35	31	41
17	1,02	76	68	91	1,81	28	24	31
18	1,22	50	48	69	2,35	22	19	24
19	1,18	50	45	60	1,83	27	24	31
20	1,09	56	50	65	1,81	28	23	33
21	1,06	51	44	56	1,86	31	29	35
22	0,92	56	55	62	2,63	20	17	23
23	0,93	55	48	60	2,54	26	21	27
24	1,02	71	60	78	2,13	25	20	24
25	0,97	52	45	58	2,13	25	21	28
26	0,95	58	50	64	1,34	40	33	39
27	1,13	54	46	58	1,40	40	33	44
28	1,02	51	44	57	2,85	34	34	39
29	1,03	49	43	52	2,31	30	25	32
30	0,98	54	46	61	2,40	31	26	32
31	-	-	-	-	2,90	24	21	27

Tabla n° 10.74.- Rendimientos del filtro biológico y cargas hidráulicas m³/m².d. Abril y Mayo de 1995.

Día	Abril				Mayo			
	Carga	DBO	DQO	SS	Carga	DBO	DQO	SS
1	0,42	16	12	18	1,27	26	34	51
2	0,42	26	19	28	1,27	40	35	43
3	0,42	28	23	32	1,27	33	36	39
4	0,42	42	16	51	1,27	33	30	39
5	0,42	67	59	65	1,27	40	37	51
6	0,42	69	61	71	1,27	41	33	54
7	0,42	88	79	71	1,27	30	27	41
8	0,42	88	80	70	1,27	26	22	34
9	0,42	92	82	80	1,27	33	29	37
10	0,42	90	80	81	1,27	29	26	33
11	0,42	91	81	81	1,27	26	21	31
12	0,42	91	81	81	1,27	32	29	37
13	0,42	90	80	90	1,27	29	25	33
14	0,42	91	80	89	1,27	25	26	28
15	0,42	88	78	87	1,27	22	19	24
16	0,85	73	65	88	1,70	35	31	41
17	0,85	76	68	91	1,70	28	24	31
18	0,85	50	48	69	1,70	22	19	24
19	0,85	50	45	60	1,70	27	24	31
20	0,85	56	50	65	1,70	28	23	33
21	0,85	51	44	56	1,70	31	29	35
22	0,85	56	55	62	1,70	20	17	23
23	0,85	55	48	60	1,70	26	21	27
24	0,85	71	60	78	1,70	25	20	24
25	0,85	52	45	58	1,70	25	21	28
26	0,85	58	50	64	1,70	40	33	39
27	0,85	54	46	58	1,70	40	33	44
28	0,85	51	44	57	1,70	34	34	39
29	0,85	49	43	52	1,70	30	25	32
30	0,85	54	46	61	1,70	31	26	32
31	-	-	-	-	1,70	24	21	27

Tabla n° 10.75.- Rendimientos del filtro biológico y caudales de aire de proceso (l/h). Abril y Mayo de 1995.

Día	Abril				Mayo			
	Carga	DBO	DQO	SS	Carga	DBO ₅	DQO	SS
1	20	16	12	18	75	26	34	51
2	20	26	19	28	75	40	35	43
3	20	28	23	32	75	33	36	39
4	20	42	16	51	75	33	30	39
5	20	67	59	65	75	40	37	51
6	20	69	61	71	75	41	33	54
7	20	88	79	71	75	30	27	41
8	35	88	80	70	75	26	22	34
9	35	92	82	80	75	33	29	37
10	35	90	80	81	80	29	26	33
11	35	91	81	81	80	26	21	31
12	35	91	81	81	80	32	29	37
13	35	90	80	90	80	29	25	33
14	35	91	80	89	80	25	26	28
15	35	88	78	87	80	22	19	24
16	50	73	65	88	90	35	31	41
17	50	76	68	91	90	28	24	31
18	50	50	48	69	90	22	19	24
19	50	50	45	60	90	27	24	31
20	50	56	50	65	90	28	23	33
21	50	51	44	56	90	31	29	35
22	50	56	55	62	90	20	17	23
23	60	55	48	60	95	26	21	27
24	60	71	60	78	95	25	20	24
25	60	52	45	58	95	25	21	28
26	60	58	50	64	95	40	33	39
27	60	54	46	58	95	40	33	44
28	60	51	44	57	95	34	34	39
29	60	49	43	52	95	30	25	32
30	60	54	46	61	95	31	26	32
31	-	-	-	-	95	24	21	27

Tabla n° 10.76.- Rendimientos del proceso. Abril de 1995

Día	Decantación primaria			Filtro biológico			Total		
	DBO	DQO	SS	DBO ₅	DQO	SS	DBO ₅	DQO	SS
1	30	25	60	16	12	18	41	34	67
2	32	40	64	26	19	28	50	52	74
3	18	34	67	28	23	32	41	50	78
4	30	24	40	42	16	51	60	36	71
5	23	28	50	67	59	65	74	71	83
6	30	15	55	69	61	71	79	63	87
7	31	24	60	88	79	71	92	84	88
8	30	27	60	88	80	70	91	85	88
9	15	26	55	92	82	80	93	87	91
10	33	16	56	90	80	81	93	84	92
11	29	28	59	91	81	81	93	86	92
12	30	25	60	91	81	81	94	86	93
13	30	25	60	90	80	90	93	85	96
14	30	25	60	91	80	89	94	85	96
15	29	25	61	88	78	87	91	84	95
16	31	25	62	73	65	88	81	73	96
17	33	25	61	76	68	91	84	76	97
18	23	25	43	50	48	69	61	61	83
19	40	32	61	50	45	60	70	63	84
20	30	33	60	56	50	65	70	67	86
21	31	25	59	51	44	56	66	58	82
22	30	24	62	56	55	62	70	66	85
23	20	24	56	55	48	60	64	60	82
24	49	19	47	71	60	78	85	68	88
25	32	27	58	52	45	58	68	60	82
26	37	32	62	58	50	64	73	66	86
27	31	34	51	54	46	58	68	64	80
28	31	25	60	51	44	57	66	58	83
29	31	26	61	49	43	52	65	58	81
30	31	25	59	54	46	61	68	60	84
31	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla n° 10.77.- Rendimientos del proceso. Mayo 1995

Día	Decantación primaria			Filtro biológico			Total		
	DBO ₅	DQO	SS	DBO ₅	DQO	SS	DBO ₅	DQO	SS
1	14	48	52	26	34	51	37	48	76
2	30	52	63	40	35	43	58	52	79
3	38	49	56	33	36	39	59	49	73
4	38	46	71	33	30	39	59	46	82
5	30	53	61	40	37	51	58	53	81
6	29	50	62	41	33	54	58	50	82
7	15	38	64	30	27	41	41	38	79
8	20	43	54	26	22	34	41	43	69
9	30	48	52	33	29	37	53	48	70
10	35	51	61	29	26	33	54	51	74
11	33	46	56	26	21	31	51	46	69
12	31	47	59	32	29	37	53	47	74
13	30	44	61	29	25	33	51	44	74
14	51	63	71	25	26	28	63	63	79
15	25	26	61	22	19	24	29	26	70
16	24	46	67	35	31	41	51	46	81
17	35	49	77	28	24	31	53	49	84
18	38	48	56	22	19	24	51	48	66
19	29	43	60	27	24	31	48	43	73
20	29	43	60	28	23	33	49	43	73
21	44	61	72	31	29	35	62	61	82
22	44	53	59	20	17	23	56	53	69
23	22	38	57	26	21	27	42	38	68
24	11	42	67	25	20	24	33	42	75
25	13	30	53	25	21	28	35	30	66
26	30	50	61	40	33	39	58	50	76
27	30	50	60	40	33	44	58	50	77
28	38	58	21	34	34	39	59	58	52
29	33	49	56	30	25	32	53	49	70
30	29	46	56	31	26	32	51	46	70
31	16	31	35	24	21	27	36	31	52

Tabla n° 10.78.- Lavados. Abril 1995

Día	n° lavados	ciclos/lavado	Caudal agua (l/h)	Caudal aire (l/h)	Tiempo agua (min)	Tiempo aire (min)	Volumen agua (l)	Volumen aire (l)	% caudal agua de lavado respecto de proceso
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	1	2	200	100	1,5/2/1,5	1,5/2	33	12	0,7309
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	1	2	200	100	1,5/2/1,5	1,5/2	33	12	0,7196
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	1	2	200	100	1,5/2/1,5	1,5/2	33	12	0,6145
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	1	2	200	100	1,5/2/1,5	1,5/2	33	12	0,6460
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	1	2	200	100	1,5/2/1,5	1,5/2	33	12	0,6808
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	1	2	300	100	1,5/2/1,5	1,5/2	50	12	0,8469
17	1	2	300	100	1,5/2/1,5	1,5/2	50	12	0,9058
18	1	2	300	100	1,5/2/1,5	1,5/2	50	12	1,0965
19	1	2	300	100	1,5/2/1,5	1,5/2	50	12	0,7716
20	1	2	300	100	1,5/2/1,5	1,5/2	50	12	0,8680
21	1	2	300	100	1,5/2/1,5	1,5/2	50	12	0,9057
22	1	2	300	100	1,5/2/1,5	1,5/2	50	12	0,9827
23	1	2	300	100	1,5/2/1,5	1,5/2	50	12	1,1081
24	1	2	300	100	1,5/2/1,5	1,5/2	50	12	1,2255
25	1	2	300	100	1,5/2/1,5	1,5/2	50	12	1,0212
26	1	2	300	100	1,5/2/1,5	1,5/2	50	12	0,9470
27	1	2	300	100	1,5/2/1,5	1,5/2	50	12	1,0113
28	1	2	300	100	1,5/2/1,5	1,5/2	50	12	1,9342
29	1	2	300	100	1,5/2/1,5	1,5/2	50	12	0,8903
30	1	2	300	100	1,5/2/1,5	1,5/2	50	12	0,9827

Tabla n° 10.79.- Lavados. Mayo 1995

Día	n° lavados	ciclos/lavado	Caudal agua (l/h)	Caudal aire (l/h)	Tiempo agua (min)	Tiempo aire (min)	Volumen agua (l)	Volumen aire (l)	% caudal de lavado respecto del de proceso
1	1	2	300	100	1,5/2/1,5	1,5/2	50	12	0,9645
2	1	2	300	100	1,5/2/1,5	1,5/2	50	12	1,0522
3	1	2	300	100	1,5/2/1,5	1,5/2	50	12	0,9827
4	1	2	300	100	1,5/2/1,5	1,5/2	50	12	0,8538
5	1	2	300	100	1,5/2/1,5	1,5/2	50	12	1,0739
6	1	2	300	100	1,5/2/1,5	1,5/2	50	12	1,0794
7	1	2	300	100	1,5/2/1,5	1,5/2	50	12	0,9920
8	1	2	300	100	1,5/2/1,5	1,5/2	50	12	0,9218
9	1	2	300	100	1,5/2/1,5	1,5/2	50	12	0,9735
10	1	2	300	100	1,5/2/1,5	1,5/2	50	12	0,8903
11	1	3	500	100	1,5/2/1,5	1,5/2	125	18	2,1346
12	1	3	500	100	1,5/2/1,5	1,5/2	125	18	2,1522
13	1	3	500	100	1,5/2/1,5	1,5/2	125	18	2,0032
14	1	3	500	100	1,5/2/1,5	1,5/2	125	18	1,8735
15	1	3	500	100	1,5/2/1,5	1,5/2	125	18	2,0345
16	2	3	500	100	1,5/2/1,5	1,5/2	250	35	4,1335
17	2	3	500	100	1,5/2/1,5	1,5/2	250	35	2,9761
18	2	3	500	100	1,5/2/1,5	1,5/2	250	35	4,4516
19	2	3	500	100	1,5/2/1,5	1,5/2	250	35	5,10620
20	2	3	500	100	1,5/2/1,5	1,5/2	250	35	5,2345
21	2	3	500	100	1,5/2/1,5	1,5/2	250	35	3,5919
22	2	3	500	100	1,5/2/1,5	1,5/2	250	35	3,6422
23	2	4	500	100	1,5/2/1,5	1,5/2	333	47	5,3833
24	2	4	500	100	1,5/2/1,5	1,5/2	333	47	4,8225
25	2	4	500	100	1,5/2/1,5	1,5/2	333	47	6,8757
26	2	4	500	100	1,5/2/1,5	1,5/2	333	47	9,0777
27	2	4	500	100	1,5/2/1,5	1,5/2	333	47	9,0187
28	2	4	500	100	1,5/2/1,5	1,5/2	333	47	8,6805
29	2	4	500	100	1,5/2/1,5	1,5/2	333	47	5,9866
30	2	4	500	100	1,5/2/1,5	1,5/2	333	47	5,7392
31	2	4	500	100	1,5/2/1,5	1,5/2	333	47	7,0862

Un estudio microscópico del fango muestra de nuevo una escasa colonización del mismo no es adecuada, predominando las zoogreas, así como gusanos y otras especies microscópicas propias de medios escasos en oxígeno.

Los lavados se realizaban de forma manual, siguiendo las siguientes fases:

1ª *Fase de esponjamiento*, con agua y aire

2ª *Fase de lavado*, con agua y aire

3ª *Fase de aclarado*, sólo con agua

Para el agua de lavado se utiliza la almacenada en un depósito procedente de la depuración de la misma planta piloto.

10.5.12.- Estudio sistemático de resultados

A partir de los datos recogidos en las tablas anteriores, para una mejor visualización y conclusión de los mismos, se han realizado un conjunto de gráficos en los que se recogen tanto los resultados obtenidos, como las relaciones encontradas con los parámetros y variables establecidos previamente para esta investigación. Todo esto se expone en los siguientes apartados.

10.5.12.1.- Rendimientos obtenidos

Los rendimientos obtenidos en DBO, DQO y SS durante los meses de Abril, Mayo y Junio se han recogido en una serie de gráficos, que se adjuntan en el anejo nº 4.

Estos son los siguientes:

- Gráfico nº 10.108.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 5ª fase. Mes Abril 1995.

Rendimientos DQO.

- Gráfico nº 10.109.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 5ª fase. Mes Abril 1995.

Rendimientos DBO

- Gráfico nº 10.110.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 5ª fase. Mes Abril 1995.

Rendimientos SS

- Gráfico nº 10.111.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 5ª fase. Mes Mayo 1995. Rendimientos DQO.

- Gráfico nº 10.112.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 5ª fase. Mes Mayo 1995. Rendimientos DBO

- Gráfico nº 10.113.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 5ª fase. Mes Mayo 1995. Rendimientos SS

Los rendimientos medios conseguidos en esta primera fase, se recogen en la siguiente tabla:

Tabla 10.80.- Rendimientos relleno cerámico en el filtro biológico. 5ª fase

	MEDIA	MEDIANA	DESVIACION TIPICA	MINIMO	MAXIMO
DQO	41	34	20,74547	12	82
DBO	47	40	22,73092	16	92
SS	50	44	20,61897	18	91

Tabla 10.81.- Rendimientos en la decantación primaria. 5ª fase

	MEDIA	MEDIANA	DESVIACION TIPICA	MINIMO	MAXIMO
DQO	19	19	8,50631	13	25
DBO	23	23	9,89310	16	30
SS	47	47	9,89310	35	60

Tabla 10.82.- Rendimientos totales del proceso. Relleno cerámico. 5ª fase

	MEDIA	MEDIANA	DESVIACION TIPICA	MINIMO	MAXIMO
DQO	32	32	1,94148	31	34
DBO	39	39	3,37764	36	41
SS	60	60	10,79531	52	67

10.5.12.2.- Datos de salida. Meses Abril y Mayo 1995

En los gráficos que aparecen a continuación se reflejan los datos de salida, tanto en DBO, DQO y SS en los dos meses que dura esta primera fase de investigación. Los gráficos indicados, que se adjuntan en el anejo nº 4, son:

- Gráfico nº 10.114.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 5ª fase. Entrada y salida DQO. Mes Abril 1995.

- Gráfico nº 10.115.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 5ª fase. Entrada y salida DBO. Mes Abril 1995.

- Gráfico nº 10.116.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 5ª fase. Entrada y salida SS. Mes Abril 1995.

- Gráfico n° 10.117.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 5ª fase. Entrada y salida DQO. Mes Mayo 1995.

- Gráfico n° 10.118.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 5ª fase. Entrada y salida DBO. Mes Mayo 1995.

- Gráfico n° 10.119.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 2ª fase. Entrada y salida SS. Mes Mayo 1995.

- Gráfico n° 10.120.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 2ª fase. Entrada y salida pH. Mes Abril 1995

- Gráfico n° 10.121.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 2ª fase. Entrada y salida pH. Mes Mayo 1995.

Los valores medios de DQO, DQO, SS y pH de salida en esta primera fase con el relleno cerámico son los siguientes:

Tabla 10.83.- Valores de salida. Relleno cerámico. 5ª fase

	MEDIA	MEDIANA	DESVIACION TIPICA	MINIMO	MAXIMO
DQO	294	299	111,86143	87	527
DBO	116	112	59,84340	16	255
SS	46	43	21,81450	8	94
pH	8,26	8,2	0,174172	7,9	8,5

10.5.12.3.- Relación rendimientos y parámetros establecidos

Se han recogido una serie de gráficos en los que se relacionan los rendimientos obtenidos con los distintos parámetros establecidos.

Estos gráficos son los siguientes:

- Gráfico nº 10.122.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 5ª fase. Rendimientos DQO/carga DBO_5
- Gráfico nº 10.123.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 5ª fase. Rendimientos DBO/carga DBO_5
- Gráfico nº 10.124.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 5ª fase. Rendimientos SS/carga DBO
- Gráfico nº 10.125.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 5ª fase. Rendimientos DQO/carga SS
- Gráfico nº 10.126.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 5ª fase. Rendimientos DBO/carga SS
- Gráfico nº 10.127.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 5ª fase. Rendimientos SS/ carga SS
- Gráfico nº 10.128.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 5ª fase. Rendimientos DQO/carga hidraulica
- Gráfico nº 10.129.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 5ª fase. Rendimientos DBO/carga hidraulica

- Gráfico n° 10.130.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 5ª fase. Rendimientos SS/carga hidraulica
- Gráfico n° 10.131.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 5ª fase. DQO de salida/carga DBO
- Gráfico n° 10.132.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 5ª fase. DBO de salida/carga DBO
- Gráfico n° 10.133.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 5ª fase. SS de salida / carga DBO
- Gráfico n° 10.134.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 5ª fase. DQO de salida/carga SS
- Gráfico n° 10.135.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 5ª fase. DBO de salida/carga SS
- Gráfico n° 10.136.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 5ª fase. SS de salida/carga SS

También se ha reflejado gráficamente el porcentaje de eliminación de DQO, DBO y SS en las etapas de la decantación primaria y el tratamiento biológico. Estos son los siguientes gráficos:

- Gráfico n° 10.137.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 5ª fase. Rendimientos del proceso en DQO
- Gráfico n° 10.138.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 5ª fase. Rendimientos

del proceso en DBO

- Gráfico nº 10.139.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. 5ª fase. Rendimientos del proceso en SS

Las relaciones con la variable DQO no se han establecido por la relación existente entre esta y la DBO.

10.5.12.4.- Consumos de oxígeno

Se ha estudiado también cuales son las necesidades de aireación, ya que se trataría de un factor muy importante a la hora de evaluar económicamente la explotación de un sistema de lechos biológicos inundados con este tipo de relleno. Para ello se ha relacionado rendimientos medios y consumos de oxígeno. Se han considerado tres intervalos para los caudales de aire de proceso, y en función de estos se recogen los rendimientos medios obtenidos para la DBO, DQO y SS.

- Gráfico nº 10.140.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. Rendimientos medios en función del caudal de aire de proceso. 5ª fase.

En la tabla nº 10.84 se recogen estos rendimientos medios.

Tabla n° 10.84.- Rendimientos medios en función de caudal de aire de proceso.

	Q < 40 l/h			40 l/h < Q < 70 l/h		
	DQO	DBO	SS	DQO	DBO	SS
Media	61	71	66	50	57	65
Mediana	79	88	71	48	54	61
Desviación típica	28,05813	27,89909	23,41709	7,89772	8,74872	11,67847
Mínimo	12	16	18	43	49	52
Máximo	82	92	91	68	76	92

Tabla n° 10.84 (bis).- Rendimientos medios en función de caudal de aire de proceso.

	Q > 70 l/h		
	DQO	DBO	SS
Media	25	29	31
Mediana	23	28	31
Desviación típica	5,32935	5,80279	6,01387
Mínimo	17	20	23
Máximo	34	40	44

Se ha analizado además la relación entre el caudal de aire aportado y los kg de oxígeno/kg de DBO eliminada. Para ello se ha estimado que el compresor produce aire con 0,286 kg de oxígeno/m³ con un rendimiento del 15%. Se obtiene de esta forma un valor medio para la relación kg O₂/kg DBO₅ eliminada de 0'45, con un máximo de 0'82 y

un mínimo de 0'17. Estos resultados se ven en el gráfico n° 10.141.

10.5.12.5.- Estudio de las necesidades de lavados

Se ha relacionado la carga orgánica, en kg DBO/m³.d con las necesidades de agua de lavado y aire de lavado. Esto se refleja en los gráficos siguientes, que se adjuntan en el anejo n° 4:

- Gráfico n° 10.142.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. Volumen de agua de lavado. 5ª fase

- Gráfico n° 10.143.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. % de agua de lavado respecto al caudal de agua de proceso. 5ª fase

- Gráfico n° 10.144.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. Volumen de aire de lavado. 1ª fase

Las necesidades de aire y agua de lavado medias se reflejan en la tabla:

Tabla 10.85.- Volúmenes de aire y agua de lavado

	MEDIA	MEDIANA	DESVIACION TIPICA	MINIMO	MAXIMO
Volumen agua (l)	133	50	115,33137	33	333
Volumen aire (l)	22	12	13,92394	12	47
% agua de lavado respecto de proceso	2,54272	1,073883	2,4263572	0,6145	9,0777

10.5.12.6.- Estudio de la sedimentabilidad del fango

Tanto en la investigación de choque como en la primera fase con el relleno cerámico, así como en esta fase, pudo observarse la formación de importantes "madejas" de biopelícula en el filtro biológico. Esta biomasa se recoge en las dos fases de la investigación de fondo en gran cantidad, pero pudo observarse como decantaba rápidamente.

Se optó por hacer un estudio de la sedimentabilidad del fango, para lo cual se utilizaron los conos Imhoff, que se llenaron con 1 l. de muestra. Se hizo este análisis en cuatro muestras diferentes que se recogen en la tabla correspondiente. Se han recogido además estos resultados en cuatro gráficos, que se adjuntan al final en el anejo al capítulo:

- Gráfico nº 10.145.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. Estudio de sedimentabilidad del fango. 5ª fase. Muestra nº 1.
- Gráfico nº 10.146.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. Estudio de sedimentabilidad del fango. 5ª fase. Muestra nº 2.
- Gráfico nº 10.147.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. Estudio de sedimentabilidad del fango. 5ª fase. Muestra nº 3.
- Gráfico nº 10.148.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. Estudio de sedimentabilidad del fango. 5ª fase. Muestra nº 4.
- Gráfico nº 10.149.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. Estudio de sedimentabilidad del fango. 5ª fase. Media muestras 1,2,3 y 4.

10.5.12.7.- Estudio de la curva de recuperación del lecho tras un lavado

Los lavados del lecho se hacían necesarios al menos cada veinticuatro horas, y se tuvo que incrementar cada 12 horas cuando las cargas orgánicas de entrada eran elevadas.

Se ha considerado interesante hacer un estudio de recuperación de la capacidad de depuración del lecho tras un lavado. Para esto se tomaron muestras tras el lavado del filtro cada dos horas, hasta observar una estabilización del nivel de depuración y otra muestra final antes de realizar el lavado de nuevo, es decir a las 24 o 12 horas de la primera toma de muestras según el nº de lavados necesarios en un día. Las muestras se tomaron durante cuatro días distintos en los dos meses de estudio, con caudales de aire y agua distintos. Los resultados se recogen en las tablas siguientes:

Tabla n° 10.86.- Estudio de sedimentabilidad del fango. Relleno cerámico. 5ª fase.

Tiempo (minutos)	Muestra 1 12/4/95 (ml)	Muestra 2 25/4/95 (ml)	Muestra 3 6/5/95 (ml)	Muestra 4 20/5/95 (ml)	Media (ml)
0,5	0,5	0,4	0,5	0,7	0,525
1	2	1,8	2	2,25	2,0125
1,5	7	6,8	6,5	6,25	6,6375
2	11	10,5	10,75	11	10,8175
2,5	13	12,75	12,75	12,5	12,75
3	13	13	13	12,75	12,9375
3,5	12,5	12,75	13,25	13	12,875
4	12	12,25	13	13,75	12,75
5	11	12	12,5	13,25	12,1875
6	11	11,5	12	12,75	11,8125
7	10,5	11,25	11,75	12,25	11,4375
8	10	11	11,5	11,75	11,0625
9	9,75	10,5	11,25	11,25	10,6875
10	9,5	10	11	11	10,375
11	9,25	10	10,75	11	10,25
12	9	10	10,5	10,75	10,0625
13	9	10	10,25	10,75	10
14	9	9,5	10	10,5	9,75
15	8,75	9	9,75	10,5	9,5
16	8,75	8,75	9,75	10,25	9,375
17	8,5	8,75	9,5	10,25	9,25
18	8,5	8,5	9,5	10	9,125
19	8,5	8,5	9,5	10	9,125
20	8,25	8,25	9,25	10	8,9375
22	8,25	8,25	9,25	9,75	8,875
24	8,25	8	9	9,75	8,75
26	8	8	9	9,5	8,625
28	8	7,75	8,75	9,5	8,5
30	8	7,75	8,75	9,25	8,4375
32	8	7,75	8,5	9,25	8,375
34	7,75	7,5	8,5	9	8,1875
36	7,75	7,5	8,25	9	8,125
38	7,75	7,5	8,25	8,75	8,0675
40	7,5	7,5	8	8,75	7,9375
45	7,55	7,25	7,5	8,5	7,6875
50	7,5	7,25	7,25	8,25	7,5625
55	7,5	7,25	7,25	8	7,5
60	7,5	7,25	7,25	7,5	7,375

- Tabla nº 10.87.- Recuperación del lecho tras los lavados. 5ª fase. Relleno cerámico.

Muestra 1

- Tabla nº 10.88.- Recuperación del lecho tras los lavados. 5ª fase. Relleno cerámico.

Muestra 2

- Tabla nº 10.89.- Recuperación del lecho tras los lavados. 5ª fase. Relleno cerámico.

Muestra 3

- Tabla nº 10.90.- Recuperación del lecho tras los lavados. 5ª fase. Relleno cerámico.

Muestra 4

así como en los gráficos siguientes:

- Gráfico nº 10.150.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. Recuperación del lecho tras los lavados. Muestra 1. 5ª fase

- Gráfico nº 10.151.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. Recuperación del lecho tras los lavados. Muestra 2. 5ª fase.

- Gráfico nº 10.152.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. Recuperación del lecho tras los lavados. Muestra 3. 5ª fase.

- Gráfico nº 10.153.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. Recuperación del lecho tras los lavados. Muestra 4 . 5ª fase

- Gráfico nº 10.154.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. Recuperación del lecho tras los lavados. Muestras 1-4. Rendimientos DQO. 5ª fase.

- Gráfico nº 10.155.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. Recuperación del lecho

tras los lavados. Muestras 1-4. Rendimientos DBO. 5ª fase

- Gráfico nº 10.156.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. Recuperación del lecho tras los lavados. Muestras 1-4. Rendimientos SS. 5ª fase.

El sombreado color rojo en las tablas indica las horas en las que se realiza el lavado de forma que en el inicio del ciclo de toma de muestras esta se toma después del lavado y al final del mismo se toma junto antes de realizar el lavado.

Tabla 10.87.-Recuperación del lecho tras los lavados. Muestra 1 (14/4/95)

Hora	DQO entrada (mg/l)	DBO entrada (mg/l)	SS entrada (mg/l)	DQO salida (mg/l)	DBO salida (mg/l)	SS salida (mg/l)	Rendimiento DQO	Rendimient DBO	Rendimiento SS
8	425	180	83	425	180	83	0	0	0
10	456	195	91	215	65	41	53	67	55
12	401	165	74	87	30	9	78	82	88
14	584	260	87	112	25	11	81	90	87
16	897	150	94	84	20	16	91	87	83
18	605	275	73	71	25	14	88	91	81
20	463	190	74	71	15	10	85	92	86
22	463	200	75	69	15	8	85	93	89
8	597	250	98	110	20	16	82	92	84

Tabla 10.88.-Recuperación del lecho tras los lavados. Muestra 2 (24/4/95)

Hora	DQO	DBO	SS	DQO	DBO	SS	Rendimiento	Rendimient	Rendimiento
	entrada	entrada	entrada	salida	salida	salida	DQO	DBO	SS
	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)			
8	412	140	75	412	140	75	0	0	0
10	442	150	79	310	90	47	30	40	41
12	430	160	89	158	45	19	63	72	79
14	512	190	91	189	55	18	63	71	80
16	598	235	102	230	70	21	62	70	79
18	587	140	64	237	45	15	60	69	77
20	371	125	71	139	40	14	63	68	80
22	347	140	69	127	35	15	63	75	78
8	478	135	76	218	60	29	54	56	62

Tabla 10.89.-Recuperación del lecho tras los lavados. Muestra 3 (9/5/95)

Hora	DQO	DBO	SS	DQO	DBO	SS	Rendimiento	Rendimient	Rendimiento
	entrada	entrada	entrada	salida	salida	salida	DQO	DBO	SS
	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)			
8	456	180	89	456	180	89	0	0	0
10	487	195	97	425	170	79	13	13	19
12	497	200	112	327	130	69	34	35	38
14	603	240	119	392	160	71	35	33	40
16	619	245	131	387	160	78	37	35	40
18	587	235	124	374	150	77	36	36	38
20	512	205	97	354	145	61	31	29	37
22	574	230	92	385	155	57	33	33	38
8	456	180	84	358	140	61	21	22	37

Tabla 10.90.-Recuperación del lecho tras los lavados. Muestra 4 (22/5/95)

Hora	DQO	DBO	SS	DQO	DBO	SS	Rendimiento	Rendimient	Rendimiento
	entrada	entrada	entrada	salida	salida	salida	DQO	DBO	SS
	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)			
8	465	205	91	465	205	91	0	0	0
10	497	225	97	448	200	82	10	11	15
12	485	220	116	387	175	76	20	20	34
14	608	275	121	498	225	81	18	18	33
16	623	290	142	502	235	95	19	19	33
18	571	255	138	487	215	102	15	16	26
20	514	240	109	457	205	89	11	15	18

10.5.12.8.- Estudio de la depuración a distintas alturas en el filtro

Al observarse la gran dificultad que ofrecía el lecho para los lavados, como consecuencia de la alta densidad del material soporte se estudió cual era la depuración a distintas alturas, con la finalidad de intentar disminuir la altura del lecho, sin reducir con ello los rendimientos.

Para ello se tomaron muestras a 50, 100, 150 cm de la parte superior del lecho, así como a la salida del lecho, utilizando para los tres primeros muestreos los orificios de salida de los tubos piezométricos. Esto se hizo en cuatro días distintos y los resultados obtenidos se observan en las tablas siguientes:

- Tabla nº 10.91.- Relleno cerámico. Estudio de la depuración del filtro a distintas

alturas. Muestra 1 (9/4/95)

- Tabla nº 10.92.- Relleno cerámico. Estudio de la depuración del filtro a distintas alturas. Muestra 2 (20/4/95)

- Tabla nº 10.93.- Relleno cerámico. Estudio de la depuración del filtro a distintas alturas. Muestra 3 (6/5/95)

- Tabla nº 10.94.- Relleno cerámico. Estudio de la depuración del filtro a distintas alturas. Muestra 4 (17/5/95),

así como en los gráficos:

- Gráfico nº 10.157.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. Depuración a distintas alturas del filtro. Muestra 1. 5ª fase

- Gráfico nº 10.158.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. Depuración a distintas alturas del filtro. Muestra 2. 5ª fase

- Gráfico nº 10.159.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. Depuración a distintas alturas del filtro. Muestra 3. 5ª fase

- Gráfico nº 10.160.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. Depuración a distintas alturas del filtro. Muestra 4. 5ª fase

- Gráfico nº 10.161.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. Depuración a distintas alturas del filtro. Rendimientos en DQO. 5ª fase

- Gráfico nº 10.162.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. Depuración a distintas alturas del filtro. Rendimientos en DBO. 5ª fase

- Gráfico nº 10.163.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. Depuración a distintas alturas del filtro. Rendimientos en SS. 5ª fase.
- Gráfico nº 10.164.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. Depuración a distintas alturas del filtro. Porcentaje de depuración en DQO. 5ª fase. Muestra 1
- Gráfico nº 10.165.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. Depuración a distintas alturas del filtro. Porcentaje de depuración en DBO. 5ª fase. Muestra 1
- Gráfico nº 10.166.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. Depuración a distintas alturas del filtro. Porcentaje de depuración en SS. 5ª fase. Muestra 1
- Gráfico nº 10.167.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. Depuración a distintas alturas del filtro. Porcentaje de depuración en DQO. 5ª fase. Muestra 2
- Gráfico nº 10.168.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. Depuración a distintas alturas del filtro. Porcentaje de depuración en DBO. 5ª fase. Muestra 2
- Gráfico nº 10.169.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. Depuración a distintas alturas del filtro. Porcentaje de depuración en SS. 5ª fase. Muestra 2
- Gráfico nº 10.170.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. Depuración a distintas alturas del filtro. Porcentaje de depuración en DQO. 5ª fase. Muestra 3
- Gráfico nº 10.171.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. Depuración a distintas alturas del filtro. Porcentaje de depuración en DBO. 5ª fase. Muestra 3
- Gráfico nº 10.172.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. Depuración a distintas alturas del filtro. Porcentaje de depuración en SS. 5ª fase. Muestra 3
- Gráfico nº 10.173.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. Depuración a distintas alturas del filtro. Porcentaje de depuración en DQO. 5ª fase. Muestra 4

- Gráfico nº 10.174.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. Depuración a distintas alturas del filtro. Porcentaje de depuración en DBO. 5ª fase. Muestra 4

- Gráfico nº 10.175.- Investigación de fondo. Relleno cerámico. Depuración a distintas alturas del filtro. Porcentaje de depuración en SS. 5ª fase. Muestra 4

Tabla nº 10.91.- Depuración a distintas alturas del filtro. Muestra 1 (9/4/95)

H m	DQO mg/l	DBO mg/l	SS mg/l	Carga (kg/m ³ d)		Rendimientos			Porcentaje rendimientos		
				DBO	SS	DQO	DBO	SS	DQO	DBO	SS
0	512	230	94	-	-	-	-	-	-	-	-
0,5	312	135	64	4,69	1,91	39	41	32	47,51	44,56	40
1	96	25	26	2,34	0,96	81	89	72	98,81	96,74	90
1,5	92	18	20	1,56	0,64	82	92	79	99,76	100	98,75
1,8	91	18	19	1,30	0,53	82	92	80	100	100	100

Tabla nº 10.92.- Depuración a distintas alturas del filtro. Muestra 2 (20/4/95)

H m	DQO mg/l	DBO mg/l	SS mg/l	Carga (kg/m ³ d)		Rendimientos			Porcentaje rendimientos		
				DBO	SS	DQO	DBO	SS	DQO	DBO	SS
0	472	195	96	-	-	-	-	-	-	-	-
0,5	358	140	64	7,95	3,91	24	28	33	48	50	50,77
1	241	90	37	3,97	1,96	49	54	61	98	96,43	93,85
1,5	235	85	34	2,65	1,30	50	56	65	100	100	100
1,8	234	85	34	2,21	1,09	50	56	65	100	100	100

Tabla n° 10.93.- Depuración a distintas alturas del filtro. Muestra 3 (6/5/95)

H m	DQO mg/l	DBO mg/l	SS mg/l	Carga (kg/m ² d)		Rendimientos			Porcentaje rendimientos		
				DBO	SS	DQO	DBO	SS	DQO	DBO	SS
0	449	170	74	-	-	-	-	-	-	-	-
0,5	379	140	61	10,39	4,52	16	18	18	48,48	43,90	33,33
1	302	110	38	5,19	2,26	33	35	49	100	85,37	90,74
1,5	300	105	36	3,46	1,51	33	38	51	100	92,68	94,44
1,8	299	100	34	2,89	1,26	33	41	54	100	100	100

Tabla n° 10.94.- Depuración a distintas alturas del filtro. Muestra 4 (17/5/95)

H m	DQO mg/l	DBO mg/l	SS mg/l	Carga (kg/m ² d)		Rendimientos			Porcentaje rendimientos		
				DBO	SS	DQO	DBO	SS	DQO	DBO	SS
0	543	270	116	-	-	-	-	-	-	-	-
0,5	504	250	101	22	9,45	7	7	13	41,18	35	56,52
1	447	225	92	11	4,73	18	17	21	100	85	91,30
1,5	451	215	87	7,33	3,15	17	20	25	100	100	100
1,8	448	215	89	6,11	2,63	17	20	23	100	100	100

F) SEXTA FASE: GRANULOMETRIA 2 A 5 mm, SIN IMPERMEABILIZAR, ALTURA DE FILTRO 1,80 m, ALIMENTACION AGUA DE PROCESO INFERIOR

10.5.13.- Resultados analíticos y estudio sistemático de resultados

En esta fase, que se prolongó durante el mes de Junio, no se consiguió un correcto funcionamiento de la planta piloto.

En la segunda fase no se consiguió un correcto funcionamiento del filtro con alimentación inferior de agua de proceso, por lo que se optó a reducir la granulometría, manteniendo por el momento la altura de filtro, aunque se optó por no impermeabilizar el relleno dados los resultados de fases anteriores. Sin embargo a pesar de reducir la granulometría de las partículas de relleno, de nuevo la biopelícula se formaba en el fondo del lecho, por lo que era **imposible**, a pesar de reducir la granulometría, eliminar los gruesos filamentos de biomasa atrapada en el relleno que ocupaba una columna muy alta.

Esta biopelícula, además, se formaba con gran rapidez, por lo que se necesitaban lavados muy frecuentes, normalmente cada 24 horas, pero con estos no se conseguía una limpieza del lecho por lo que a los dos días de funcionamiento el lecho estaba completamente colmatado por la parte inferior, se formaban algunos caminos preferenciales por los que escapaba parte del agua de proceso, pero la mayor parte del

lecho se quedaba seco. A pesar de introducir caudales importantes de agua y aire de lavado no se consiguieron resultados.

10.6- INVESTIGACION DE FONDO. DOBLE CAPA

10.6.1.- Introducción

Tras los resultados obtenidos en las fases anteriores se optó por trabajar con los dos rellenos simultáneamente, de forma que se colocaría el relleno plástico en la parte inferior y el cerámico en la superior en una cantidad tal que mantuviese sumergido al relleno plástico y el mismo en su totalidad, utilizando un medio poroso intermedio para evitar la mezcla de rellenos.

De esta forma se trabajó con un lecho con las siguientes características:

- altura capa de relleno cerámico, 1 m
- altura capa de relleno plástico, 80 cm
- separación entre medios, material filtrante plástico con poros de 1 a 1,5 mm
- alimentación de aire inferior
- alimentación de agua superior

De esta forma se estuvo trabajando durante el mes de Julio.

10.6.2.- Problemas técnicos que se presentaron

Al trabajar con este diseño surgieron importantes dificultades como consecuencia de la imposibilidad de realizar lavados ya que el material filtrante intermedio que impedía la mezcla de rellenos, también impedía los lavados, produciéndose una elevación de toda la columna en bloque y no una agitación y esponjamiento que permitiese una eliminación de la biomasa. Como consecuencia, tras unos cinco días de puesta en marcha y unos diez de buen funcionamiento, cuando se llegó a la colmatación del lecho el filtro dejó de funcionar.

Como consecuencia no se va a hacer un análisis de resultados similar al anterior; sólo se va a indicar en los días de buen funcionamiento cuales son los rendimientos medios obtenidos y el porcentaje que corresponde en depuración a cada una de las capas.

Los lavados se realizaron de forma agresiva, utilizando caudales de agua muy elevados, cerca de 450 l en cada lavado, pero no se podían utilizar caudales de aire altos ya que producían una elevación de la columna en bloque.

10.6.3.- Metodología para la toma de datos

Tras las fases de investigación de fondo desarrolladas hasta el momento se comprobó la necesidad de una decantación secundaria tras la depuración con filtro de relleno cerámico. Al colocar el relleno plástico en la parte inferior del filtro, quedaba

comprimido, por lo que se tomaron las muestras sin decantación, utilizando el automatismo de la planta.

Las pautas seguidas para la toma de muestras fueron:

- Toma de muestras automática
- Muestras integradas, procedentes de muestreos cada tres horas
- Homogeneizar la muestra en el laboratorio y analizar sin decantación.

10.6.4.- Analítica de las muestras

Las muestras tomadas diariamente en cada una de las fases se analizaron en las siguientes dependencias:

- Analítica rutinaria (pH, DBO, DQO y SS) en el **Laboratorio de la Depuradora Sur.**
- Observaciones microscópicas en el **Laboratorio de la Depuradora Oeste Los Vados.**

10.6.5.- Resultados analíticos

En este apartado se van a recoger las siguientes tablas:

- Tabla nº 10.95.- Entrada y salida en la capa de relleno cerámico. Julio 1995
- Tabla nº 10.96.- Entrada y salida en la capa de relleno plástico. Julio 1995
- Tabla nº 10.97.- Rendimientos en las capas cerámico y plástico. Julio 1995
- Tabla nº 10.98.- Caudales de agua de proceso y aire de proceso. Julio 1995
- Tabla nº 10.99.- Observaciones.

En azul están sombreados los días en los que se pone en marcha la nueva etapa y en rojo los días correspondientes a la colmatación del lecho.

Tabla n° 10.95.- Entrada y salida capa de relleno cerámico. Julio 1995. DBO, DQO y SS en mg/l.

Dia	Entrada			Salida		
	DBO	DQO	SS	DBO	DQO	SS
1	238	479	90	215	441	76
2	241	481	96	190	387	63
3	273	545	116	150	371	53
4	230	448	108	105	256	51
5	323	647	94	100	219	19
6	246	491	94	85	191	34
7	245	501	96	125	241	42
8	245	493	91	120	234	41
9	229	458	72	110	196	34
10	278	555	98	150	212	37
11	179	358	92	55	79	19
12	179	358	76	50	81	14
13	174	348	84	90	161	42
14	210	419	68	115	157	23
15	200	400	71	100	156	25
16	187	373	82	95	184	42
17	238	476	82	165	350	49
18	233	465	92	180	368	61
19	212	423	68	160	331	49
20	215	430	70	170	358	53
21	185	371	67	170	341	59
22	175	341	78	165	321	71
23	130	375	64	110	336	49
24	200	399	72	180	368	59
25	141	281	68	120	261	62
26	135	274	82	120	251	66
27	238	476	84	225	448	78
28	235	463	89	215	446	79
29	209	421	69	195	408	61
30	187	373	70	175	358	64
31	170	340	76	150	315	65

Tabla n° 10.96.- Entrada y salida capa de relleno plástico. Julio 1995. DBO, DQO y SS en mg/l.

Dia	Entrada			Salida		
	DBO	DQO	SS	DBO	DQO	SS
1	215	441	76	200	387	68
2	190	387	63	175	371	54
3	150	371	53	130	342	41
4	105	256	51	90	214	41
5	100	219	19	95	215	15
6	85	191	34	75	178	25
7	125	241	42	115	231	35
8	120	234	41	105	223	29
9	110	196	34	100	179	28
10	150	212	37	135	199	30
11	55	79	19	50	74	17
12	50	81	14	40	66	12
13	90	161	42	85	153	33
14	115	157	23	100	145	17
15	100	156	25	90	147	21
16	95	184	42	85	171	35
17	165	350	49	155	341	42
18	180	368	61	170	362	57
19	160	331	49	155	324	45
20	170	358	53	165	351	50
21	170	341	59	160	332	53
22	165	321	71	150	314	68
23	110	336	49	100	331	45
24	180	368	59	175	359	54
25	120	261	62	115	251	58
26	120	251	66	110	245	61
27	225	448	78	220	439	74
28	215	446	79	200	438	73
29	195	408	61	190	400	58
30	175	358	64	170	351	61
31	150	315	65	145	312	62

Tabla n° 10.97.- Rendimientos capa relleno cerámico y plástico. Julio 1995

Dia	Relleno cerámico			Relleno plástico			Rendimiento total		
	DBO	DQO	SS	DBO	DQO	SS	DBO	DQO	SS
1	10	8	16	7	12	11	16	19	24
2	21	20	34	8	4	14	27	23	44
3	45	32	54	13	8	23	52	37	65
4	54	43	53	14	16	20	61	52	62
5	69	66	80	5	2	21	71	67	84
6	65	61	64	12	7	26	70	64	73
7	49	52	56	8	4	17	53	54	64
8	51	53	55	13	5	29	57	55	68
9	52	57	53	9	9	18	56	61	61
10	46	62	62	10	6	19	51	64	69
11	69	78	79	9	6	11	72	79	82
12	72	77	82	20	19	14	78	82	84
13	48	54	50	6	5	21	51	56	61
14	45	63	66	13	8	26	52	65	75
15	50	61	65	10	6	16	55	63	70
16	49	51	49	11	7	17	55	54	57
17	31	26	40	6	3	14	35	28	49
18	23	21	34	6	2	7	27	22	38
19	25	22	28	3	2	8	27	23	34
20	21	17	24	3	2	6	23	18	29
21	8	8	12	6	3	10	14	11	21
22	6	6	9	9	2	4	14	8	13
23	15	10	23	9	1	8	23	12	30
24	10	8	18	3	2	8	13	10	25
25	15	7	9	4	4	6	18	11	15
26	11	8	20	8	2	8	19	11	26
27	5	6	7	2	2	5	8	8	12
28	9	4	11	7	2	8	15	5	18
29	7	3	12	3	2	5	9	5	16
30	6	4	9	3	2	5	9	6	13
31	12	7	14	3	1	5	15	8	18

Tabla n° 10.98.- Caudales de agua de proceso (l/h). Mes de Julio 1995

Día	Caudal de agua (l/h)
1	30
2	30
3	30
4	30
5	30
6	30
7	50
8	50
9	50
10	50
11	50
12	50
13	70
14	70
15	70
16	70
17	70
18	70
19	90
20	90
21	90
22	90
23	90
24	90
25	50
26	50
27	50
28	50
29	50
30	50
31	50

Tabla n° 10.99.-. Observaciones mes de Julio 1995

Dia	Julio
1	Se comienza a trabajar con la doble capa
2	
3	Se observa que aparece biopelícula
4	Lavado. Es difícil de realizar
5	
6	
7	Lavado. Dificultad en los lavados
8	
9	Lavado. Dificultad en los lavados
10	
11	Lavado. Dificultad en los lavados
12	
13	Lavado. Dificultad en los lavados
14	
15	
16	Lavado. Dificultad en los lavados
17	Deja de funcionar correctamente ya que los lavados no eliminan la biomasa
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	

10.6.7.- Estudio sistemático de resultados

Por las razones indicadas anteriormente en esta etapa sólo se van a analizar los rendimientos medios durante los días en los que funcionó correctamente, sin colmatación, el lecho, así como los porcentajes de rendimiento de cada una de las capas. Esto se refleja en las tablas 10.100, 10.101, y 10.102 y en los gráficos 10.178, 10.179 y 10.180:

- Gráfico nº 10.176.- Investigación de fondo. Doble capa. Porcentaje de rendimientos en DQO. Julio 1995
- Gráfico nº 10.177.- Investigación de fondo. Doble capa. Porcentaje de rendimientos en DBO. Julio 1995
- Gráfico nº 10.178.- Investigación de fondo. Doble capa. Porcentaje de rendimientos en SS. Julio 1995.

Tabla nº 10.100.- Rendimientos relleno cerámico.

	MEDIA	MEDIANA	DESVIACION TIPICA	MINIMO	MAXIMO
DQO	58	61	12,98500	26	78
DBO	54	50	11,93562	31	72
SS	62	62	12,86839	40	82

Tabla nº 10.101.- Rendimientos del relleno plástico

	MEDIA	MEDIANA	DESVIACION TIPICA	MINIMO	MAXIMO
DQO	7	6	4,08104	2	19
DBO	10	10	3,92426	5	20
SS	19	18	5,47078	11	29

Tabla n° 10.102.- Rendimientos totales del proceso.

	MEDIA	MEDIANA	DESVIACION TIPICA	MINIMO	MAXIMO
DQO	61	63	13,10244	28	82
DBO	58	55	11,47503	35	78
SS	69	69	10,71888	49	84

**11.- CONCLUSIONES DEFINITIVAS, DEFENSA
Y LINEAS FUTURAS DE INVESTIGACION**

11.- CONCLUSIONES DEFINITIVAS, DEFENSA Y LINEAS FUTURAS DE INVESTIGACION

Finalmente se ha llegado al capítulo de conclusiones definitivas obtenidas a partir de la investigación de fondo expuesta en el capítulo anterior. En este capítulo se van a ir analizando para cada relleno y para cada fase cuales son las conclusiones que pueden obtenerse en cada una de ellas, así como una serie de recomendaciones para solucionar los problemas encontrados y otro en el que se compararán los distintos rellenos entre sí y con los resultados obtenidos en la depuradora Sur simultáneamente a la realización de esta investigación, con la finalidad de contrastar resultados.

11.1.- CONCLUSIONES DEFINITIVAS. RELLENO PLASTICO

11.1.1.- Alimentación superior. Lecho flotante

a) Funcionamiento del lecho. Problemas del sistema y del relleno

1.- Puede observarse un funcionamiento secuencial del filtro con desprendimientos espontáneos de la biopelícula cada 7 a 10 días. Esto se aprecia en los gráficos nº 10.1 a 10.18. Es indicativo de que cuando la biopelícula alcanza un cierto grosor se desprende sola, de forma análoga a los que ocurre en los lechos bacterianos.

2.- Tras el desprendimiento de la biopelícula la recuperación del lecho es admisible, teniendo rendimientos no aceptables al día siguiente.

3.- La formación de biopelícula es abundante, y un examen microscópico de la misma muestra una buena colonización con crecimiento bajo de bacterias filamentosas así como colonias de Amebas y Vorticellas. Aunque se observó algunos organismos filamentosos no se pudo apreciar ningún efecto adverso en la calidad del efluente.

4.- Mala distribución del aire de proceso ya que en la parte inferior el relleno estaba en constante agitación, mientras que en la parte superior se encuentra fuertemente compactado, así como con aireación escasa. El aire se distribuía fundamentalmente por la parte exterior del lecho, dejando la parte interior con una aireación escasa. Esto se pudo observar porque cuando se producían fallos en el compresor que daban lugar a la agitación de toda la masa de relleno, del interior aparecían algunos flóculos de

Conclusiones definitivas, defensa y líneas futuras de investigación

biopelícula muerta y que había quedado atrapada en su interior. Desde la parte superior del lecho se observaba además burbujeo de aire por el perímetro del reactor, pero no por la parte central.

5.- Necesidad de un decantador secundario ya que, con el agua depurada, escapa siempre un volumen de biomasa que se observó era más importante cuando se producían los desprendimientos de biopelícula. Este decantador secundario podría sustituirse por un filtro de arena.

6.- Fallos del sistema, como incrementos puntuales del caudal de aire dan lugar a agitaciones del relleno, y como consecuencia desprendimientos de la biopelícula. En estas ocasiones fue cuando se dejó ver flóculos de biopelícula muerta atrapados en el interior del lecho, lo que indica que al no realizarse lavados, la parte interior, al encontrarse muy compactada y poco aireada, no eliminaría bien la biomasa, pudiendo dar además problemas de anaerobiosis. Serían necesarios unos lavados periódicos, no con la frecuencia que en otros filtros inundados, pero que permitieran la "limpieza" correcta del lecho para evitar la acumulación de biomasa muerta.

7.- Los lavados no podrían realizarse con aire y agua en sentido ascendente; para evitar pérdidas de relleno el agua tendría que ir en sentido descendente. Dada la gran facilidad de agitación del lecho estos lavados serían muy cortos y por tanto los costes añadidos de funcionamiento por los lavados no serían tan elevados como en otros tipos

de filtros biológicos inundados. Los lavados deberían ser en sentido descendente para evitar las pérdidas de relleno indicadas.

8.- Otro problema de este relleno es la flotabilidad. Esto hace que se distingan tres zonas en el lecho, tal y como se indicó en el apartado correspondiente del capítulo anterior. Se supone por tanto que el funcionamiento del lecho se hace con la combinación de tres sistemas distintos: lechos bacterianos, lechos inundados y finalmente fangos activos.

9.- Como consecuencia de la flotabilidad del lecho, la parte superior queda "regada" por el agua de entrada y surgen problemas típicos de los lechos bacterianos: moscas y olores.

10.- La superficie de las "lentejas" no ayuda a la fijación de la biopelícula, y por otro lado su pequeño tamaño y flotabilidad dan lugar a una compactación del lecho que no permite aireación homogénea del mismo y si incrementamos el caudal de aire se produce una fuerte agitación del relleno que imposibilita, tanto por la fricción entre partículas, como por la textura lisa del relleno, el crecimiento de la biopelícula. Este apartado y el anterior indican la necesidad de mejorar el relleno, consiguiendo densidades mayores, así como más rugosidad y superficie específica; esto puede conseguirse por ejemplo con incrustaciones de arena silíceas en las "lentejas".

b) Rendimientos y niveles de depuración

11.- Los rendimientos medios conseguidos con este relleno se resumen en:

Tabla nº 11.1.- Rendimientos medios. Relleno plástico. Alimentación superior de agua de proceso

	MEDIA	DESVIACION TIPICA	MINIMO	MAXIMO
DQO	40	15,839	9	77
DBO	45	17,289	10	86
SS	53	21,016	12	94

En esta tabla puede apreciarse el elevado valor de la desviación típica, lo que indica la gran dispersión de puntos de la que disponemos, como muestra además el amplio intervalo de rendimientos que hay tanto en DQO, como en DBO y SS.

12.- Los valores medios de salida son:

Tabla nº 11.2.- Valores medios de salida. Relleno plástico. Alimentación agua de proceso superior

	MEDIA	DESVIACION TIPICA	MINIMO	MAXIMO
DQO	200	77,441918	61	445
DBO	80	41,9262	10	195
SS	32	17,3313	3	76

En esta tabla puede apreciarse como de nuevo tenemos valores muy altos de

desviación típica, que vuelve a indicar la gran dispersión de datos de salida de la que se dispone. Los intervalos en DBO de salida oscilan entre un mínimo de 10 y un máximo de 195 con una media de 80, lo que indica que los valores que se encuentran por debajo de 25, que es el límite establecido son puntuales, como puede apreciarse en el gráfico nº 10.29, se dan sólo en caso puntuales y para cargas muy bajas en DBO (alrededor del 0,5 kg DBO/m³.d) se consiguen alcanzar los límites establecidos por la legislación vigente. En el caso de los sólidos en suspensión se consiguen mínimos de 3 y unos máximos de 76 mg/l de salida con una media de 32. En este caso se consigue cumplir las limitaciones hasta valores de cargas de DBO de 1,75 kg SS/m³.d, como puede apreciar en el gráfico nº 10.30. Si se observan los gráficos nº 10.32 y 10.33 puede apreciarse como de nuevo las limitaciones no se cumplen en el caso de la DBO de salida, salvo en caso puntuales, si lo relacionamos con la carga de SS de entrada (0,5 kg SS/m³.d) y aproximadamente hasta cargas de 2 kg SS/m³.d se consiguen cumplir las limitaciones de SS de salida.

13.- En los gráficos nº 10.28 a 10.33 puede observarse como lo valores de DQO, DBO y SS de salida, se incrementan de forma apreciable, así como disminuyen rápidamente los rendimientos, indicativo de que este relleno trabaja relativamente bien para cargas en DBO y SS bajas, y en cuanto pasamos de valores que oscilan 1,25 a 2,5 kg DBO o SS/m³.d podemos decir que no es adecuado el grado de depuración alcanzado.

14.- Con este relleno se han conseguido las limitaciones impuestas por la

Conclusiones definitivas, defensa y líneas futuras de investigación

legislación vigente para el agua depurada para cargas de contaminación muy bajas.

15.- Si se compara el porcentaje de depuración alcanzado en el filtro biológico y en el decantador primario, se puede observar en los gráficos nº 10.34 a 10.36, como están casi al 50%, aunque siendo algo mayores en DBO en el reactor y menores en SS. El porcentaje de eliminación de SS está dentro de la normalidad (aproximadamente el 60% en la decantación primario), pero no ocurre así en el caso de eliminación de DBO, cuyo porcentaje debería de ser mayor, lo que indica los bajos rendimientos proporcionados en depuración con este sistema, sobre todo en eliminación de DBO.

16.- En los gráficos nº 10.25 a 10.27 se aprecia a mayores cargas hidráulicas se reducen los rendimientos. Estos gráficos muestran de nuevo la gran dispersión de datos existentes y lo que se aprecia en ellos es la banda de funcionamiento en la que se mueve, indicando el valor medio de dicho intervalo.

c) Necesidades de aireación

17.- En el gráfico 10.37 se muestra como con un incremento de los caudales de aire se producen disminuciones en los niveles de depuración, siendo esta disminución más importante en el caso de los sólidos. Esto es consecuencia de una mayor agitación del lecho con los incrementos de caudal y por tanto un mayor desprendimiento de la biopelícula.

Conclusiones definitivas, defensa y líneas futuras de investigación

18.- De la misma forma en el gráfico nº 10.38 se observa como aumentan los kg de DBO₅ eliminada a medida que aumentan los caudales de agua. No obstante no se recomiendan caudales muy altos (> 40l/h) por lo que pueden resultar insuficientes para un buen desarrollo del proceso en el reactor; las relaciones kg O₂/kg DBO₅ son muy bajas.

Los gráficos que recogen las conclusiones finales, que aparecen en el Anejo nº 5: *Gráficos. Conclusiones finales*, son:

- Gráfico nº 11.1.- Conclusiones. Relleno plástico. Alimentación superior agua. Curva de rendimientos en DBO y SS en relación con la carga en DBO
- Gráfico nº 11.2.- Conclusiones. Relleno plástico. Alimentación superior agua. Curva de rendimientos en DBO y SS en relación con la carga en SS
- Gráfico nº 11.3.- Conclusiones. Relleno plástico. Alimentación superior agua. DBO y SS estimados de salida en función de la DBO de entrada.
- Gráfico nº 11.4.- Conclusiones. Relleno plástico. Alimentación superior agua. DBO y SS estimados de salida en función de los SS de entrada.
- Gráfico nº 11.5.- Conclusiones. Relleno plástico. Alimentación superior agua. Relación kg O₂ y kg DBO₅ eliminada.

Para una mejor clasificación de los rendimientos en función de las cargas orgánicas e hidráulicas, se ha realizado una división propia para el funcionamiento con

Conclusiones definitivas, defensa y líneas futuras de investigación

este tipo de relleno, que permite hacer una estimación de los rendimientos que podrían obtenerse en función de los parámetros de diseño. Esto se recoge en la tabla 11.3.

Tabla nº 11.3.- Parámetros de diseño

	BAJA CARGA	MEDIA CARGA	ALTA CARGA
Carga orgánica (kg DBO ₅ /m ³ .d)	< 1	1-2	>2
Carga hidráulica (m ³ /m ² .h)	< 0,5	0,5-1	1-2

Esta clasificación se ha hecho en función de una serie de datos muy diversos. Como puede observarse en los gráficos que se adjuntan la nube de puntos es muy importante cuando hablamos de rendimientos en función de cargas.

De todos modos los rendimientos obtenidos en función de estos parámetros de diseño son los siguientes:

Tabla nº 11.4.- Rendimientos medios en el reactor biológico.

	Baja carga			Media carga			Alta carga		
	DQO	DBO	SS	DQO	DBO	SS	DQO	DBO	SS
Media	57	64	76	38	42	50	23	25	29
Mediana	56	62,5	74,5	40	44,5	52	21	23	28
Desviación típica	8,1492	9,0457	9,6046	7,7338	8,5267	11,2608	4,94264	5,6054	7,6730
Mínimo	45	51	60	24	27	18	17	18	19
Máximo	77	86	94	55	61	71	32	36	44

11.1.2.- Alimentación inferior. Lecho flotante

a) Funcionamiento del lecho. Problemas del sistema y del relleno

1.- De nuevo podemos observar un funcionamiento secuencial del filtro con desprendimientos espontáneos de la biopelícula cada 7 a 10 días. Esto se aprecia en los gráficos nº 10.39 a 10.50. Es indicativo de que cuando la biopelícula alcanza un cierto grosor se desprende sola, de forma análoga a los que ocurre en los lechos bacterianos.

2.- El tiempo de recuperación de la biopelícula, tras un desprendimiento espontáneo de la misma, se encuentra alrededor de dos días. Al día siguiente del desprendimiento los rendimientos en depuración son importantes y a las cuarenta y ocho horas de la pérdida de la biopelícula está ya de nuevo recuperado.

3.- La formación de biopelícula es además abundante, y un examen microscópico de la misma muestra una buena colonización con crecimiento bajo de bacterias filamentosas así como colonias de Amebas y Vorticellas. Aunque se observó algunos organismos filamentosos no se pudo apreciar ningún efecto adverso en la calidad del efluente.

4.- Se produce de nuevo una mala distribución del aire de proceso ya que en la parte inferior el relleno estaba en constante agitación, mientras que en la parte superior se encuentra fuertemente compactado, así como con aireación escasa. El aire se distribuía fundamentalmente por la parte exterior del lecho, dejando la parte interior con

una aireación escasa. Esto se pudo observar porque cuando se producían fallos en el compresor que daban lugar a la agitación de toda la masa de relleno, del interior aparecían algunos flóculos de biopelícula muerta y que había quedado atrapada en su interior. Desde la parte superior del lecho se observaba además burbujeo de aire por el perímetro del reactor, pero no por la parte central.

5.- **A diferencia con la fase anterior, no hay necesidad** de un decantador secundario ya que debido a la flotabilidad del lecho y la alimentación superior, el lecho actúa como filtro de una forma más activa que en la fase anterior. No obstante se podría colocar un filtro de arena tras el mismo para conseguir afinar los resultados, ya que siempre hay unos restos de biopelícula que escapan, sobre todo cuando se produce el desprendimiento de la biopelícula.

6.- Fallos del sistema, como incrementos puntuales del caudal de aire dan lugar a agitaciones del relleno, y como consecuencia desprendimientos de la biopelícula. En estas ocasiones fue cuando se dejó ver flóculos de biopelícula muerta atrapados en el interior del lecho, lo que indica que al no realizarse lavados, la parte interior, al encontrarse muy compactada y poco aireada, no eliminaría bien la biomasa, pudiendo dar además problemas de anaerobiosis. En este caso la compactación del lecho en la parte superior es aún mayor que en la fase anterior, ya que existe una componente más que lo comprime superiormente: el empuje del agua. Serían necesarios unos lavados periódicos, no con la frecuencia que en otros filtros inundados, pero que permitieran la "limpieza"

correcta del lecho para evitar la acumulación de biomasa muerta.

7.- Los lavados no podrían realizarse con aire y agua en sentido ascendente; para evitar pérdidas de relleno el agua tendría que ir en sentido descendente. Dada la gran facilidad de agitación del lecho estos lavados serían muy cortos y por tanto los costes añadidos de funcionamiento por los lavados no serían tan elevados como en otros tipos de filtros biológicos inundados.

8.- Otro problema de este relleno es la flotabilidad. De nuevo podemos distinguir tres zonas en el lecho, tal y como se indicó en el apartado correspondiente del capítulo anterior. En este caso la parte superior queda por encima del nivel de salida del efluente depurado, luego no hay un papel depurador del mismo y por tanto se supone que el funcionamiento del lecho se hace con la combinación de dos sistemas distintos: lechos inundados y finalmente fangos activos.

9.- La superficie de las "lentejas" no ayuda a la fijación de la biopelícula, y por otro lado su pequeño tamaño y flotabilidad dan lugar a una compactación del lecho que no permite aireación homogénea del mismo y si incrementamos el caudal de aire se produce una fuerte agitación del relleno que imposibilita, tanto por la fricción entre partículas, como por la textura lisa del relleno, el crecimiento de la biopelícula.

b) Rendimiento y niveles de depuración

10.- Los rendimientos medios conseguidos con este relleno se resumen en:

Tabla n° 11.5.- Rendimientos medios. Relleno plástico. Alimentación agua de proceso inferior.

	MEDIA	DESVIACION TIPICA	MINIMO	MAXIMO
DQO	40	13,04607	19	74
DBO	47	19,01990	21	88
SS	55	15,17578	24	84

En esta tabla puede apreciarse el elevado valor de la desviación típica, lo que indica la gran dispersión de puntos de la que disponemos, como muestra además el amplio intervalo de rendimientos que hay tanto en DQO, como en DBO y SS.

11.- Los valores medios de salida son:

Tabla n° 11.6.- Valores medios de salida (mg/l). Relleno plástico. Alimentación agua de proceso inferior

	MEDIA	DESVIACION TIPICA	MINIMO	MAXIMO
DQO	174	41,00589	67	261
DBO	77	33,17042	15	155
SS	34	15,79194	10	70

En esta tabla puede apreciarse como de nuevo tenemos valores muy altos de

b) Rendimiento y niveles de depuración

10.- Los rendimientos medios conseguidos con este relleno se resumen en:

Tabla n° 11.5.- Rendimientos medios. Relleno plástico. Alimentación agua de proceso inferior.

	MEDIA	DESVIACION TIPICA	MINIMO	MAXIMO
DQO	40	13,04607	19	74
DBO	47	19,01990	21	88
SS	55	15,17578	24	84

En esta tabla puede apreciarse el elevado valor de la desviación típica, lo que indica la gran dispersión de puntos de la que disponemos, como muestra además el amplio intervalo de rendimientos que hay tanto en DQO, como en DBO y SS.

11.- Los valores medios de salida son:

Tabla n° 11.6.- Valores medios de salida (mg/l). Relleno plástico. Alimentación agua de proceso inferior

	MEDIA	DESVIACION TIPICA	MINIMO	MAXIMO
DQO	174	41,00589	67	261
DBO	77	33,17042	15	155
SS	34	15,79194	10	70

En esta tabla puede apreciarse como de nuevo tenemos valores muy altos de

Conclusiones definitivas, defensa y líneas futuras de investigación

desviación típica, que vuelve a indicar la gran dispersión de datos de salida de la que se dispone. Los intervalos en DBO de salida oscilan entre un mínimo de 15 y un máximo de 155 con una media de 77, lo que indica que los valores que se encuentran por debajo de 25, que es el límite establecido son puntuales, como puede apreciarse en el gráfico n° 10.61, se dan sólo en caso puntuales y para cargas muy bajas en DBO (alrededor del 0,75 kg DBO/m³.d) se consiguen alcanzar los límites establecidos por la legislación vigente. En el caso de los sólidos en suspensión se consiguen mínimos de 10 y unos máximos de 70 mg/l de salida con una media de 34, sin necesidad de una decantación secundaria. En este caso se consigue cumplir las limitaciones hasta valores de cargas de DBO de 2,25 kg DBO₅/m³.d, como puede apreciar en el gráfico n° 10.62.

12.- En los gráficos n° 10.51 a 10.56 y del 10.60 al 10.65 puede observarse como los valores de DQO, DBO y SS de salida, se incrementan de forma apreciable, así como disminuyen rápidamente los rendimientos, indicativo de que este relleno trabaja relativamente bien para cargas en DBO y SS bajas.

13.- Con este relleno se han conseguido las limitaciones impuestas por la legislación vigente para el agua depurada para cargas muy bajas de contaminación de entrada.

14.- Si se compara el porcentaje de depuración alcanzado en el filtro biológico y en el decantador primario, se puede observar en los gráficos n° 10.67 a 10.68, como

Conclusiones definitivas, defensa y líneas futuras de investigación

están casi al 50%, aunque siendo algo mayores en DBO en el reactor y menores en SS. El porcentaje de eliminación de SS está dentro de la normalidad (aproximadamente el 60% en la decantación primario), pero no ocurre así en el caso de eliminación de DBO, cuyo porcentaje debería de ser mayor, lo que indica los bajos rendimientos proporcionados en depuración con este sistema, sobre todo en eliminación de DBO.

15.- En los gráficos nº 10.57 a 10.59 se aprecia que a mayores cargas hidráulicas se reducen los rendimientos. No obstante en estos gráficos se aprecia la gran dispersión de puntos que existe. Hay que interpretarlo como una banda de funcionamiento del relleno, en la que se indica la curva media de dicho intervalo.

c) Necesidades de aireación

16.- En el gráfico 10.69 se muestra como con un incremento de los caudales de aire se producen disminuciones en los niveles de depuración. Esto es consecuencia de una mayor agitación del lecho con los incrementos de caudal y por tanto un mayor desprendimiento de la biopelícula.

17.- De la misma forma en el gráfico nº 10.70 se observa como la relación $r=kg$ oxígeno/kg DBO eliminado es baja ya que no se recomienda trabajar con caudales de oxígeno muy altos (> 40 l/h) ya que se producirían desprendimientos de biopelícula, y esto podría afectar en no conseguir por otro lado rendimientos adecuados dado el poco oxígeno en el reactor.

Conclusiones definitivas, defensa y líneas futuras de investigación

Los gráficos que recogen las conclusiones anteriores, y que aparecen en el Anejo nº 5, son:

- Gráfico nº 11.6.- Conclusiones. Relleno plástico. Alimentación inferior agua. Curva de rendimientos en DBO y SS en relación con la carga en DBO
- Gráfico nº 11.7.- Conclusiones. Relleno plástico. Alimentación inferior agua. Curva de rendimientos en DBO y SS en relación con la carga en SS
- Gráfico nº 11.8.- Conclusiones. Relleno plástico. Alimentación inferior agua. DBO y SS estimados de salida en función de la DBO de entrada.
- Gráfico nº 11.9.- Conclusiones. Relleno plástico. Alimentación inferior agua. DBO y SS estimados de salida en función de los SS de entrada.
- Gráfico nº 11.10.- Conclusiones. Relleno plástico. Alimentación inferior agua. kg oxígeno en función de la carga de DBO

Para una mejor clasificación de los rendimientos en función de las cargas orgánicas e hidráulicas, se ha realizado una división propia para el funcionamiento con este tipo de relleno, que permite hacer una estimación de los rendimientos que podrían obtenerse en función de los parámetros de diseño. Esto se recoge en la tabla nº 11.7

Tabla n° 11.7.- Parámetros de diseño

	BAJA CARGA	MEDIA CARGA	ALTA CARGA
Carga orgánica (kg DBO ₅ /m ³ .d)	< 1	1-2	>2
Carga hidráulica (m ³ /m ² .h)	< 0,5	0,5-1	1-2

Esta clasificación se ha hecho en función de una serie de datos muy diversos. Como puede observarse en los gráficos que se adjuntan la nube de puntos es muy importante cuando hablamos de rendimientos en función de cargas.

De todos modos los rendimientos obtenidos en función de estos parámetros de diseño son los siguientes:

Tabla n° 11.8.- Rendimientos medios en el reactor biológico.

	Baja carga			Media carga			Alta carga		
	DQO	DBO	SS	DQO	DBO	SS	DQO	DBO	SS
Media	55	71	75	45	53	60	27	27	40
Mediana	49,5	77,5	77,5	43	50	57	27	26	41
Desviación típica	10,451	5,273	7,528	9,717	12,254	12,085	3,943	3,825	6,419
Mínimo	46	71	61	26	35	41	19	21	24
Máximo	74	88	84	73	79	84	33	32	48

11.1.3.- Lecho sumergido. Alimentación superior e inferior de agua de proceso

En estas fases no se consiguió rendimiento alguno y esto ha sido ocasionado por

un mal diseño del sistema. Al forzar el lecho para mantenerse sumergido, se produce un desplazamiento del relleno hacia la parte superior. En este caso la idea era trabajar como un lecho fluidificado, pero para ello era necesario una distribución más homogénea del caudal de aire, no como disponíamos de una aireación inferior que o bien agitaba sólo la parte inferior del lecho o si se aumentaban los caudales de aire se conseguían unas agitaciones tan bruscas del relleno que impedían la formación de biopelícula.

No obstante las características del relleno, superficie muy lisa, impiden la fijación de la biopelícula, ya que en cuanto el lecho se agita de una forma algo violenta se desprende la biopelícula y son necesarios caudales altos de aire para tener todo el lecho fluidificado y no sólo una capa inferior, mientras otra superior queda comprimida contra el dispositivo que impide su flotación.

11.2.- CONCLUSIONES DEFINITIVAS. RELLENO CERAMICO

En este caso se van a analizar las conclusiones de las distintas fases de una forma conjunta, ya que el seguimientos y pautas establecidas en cada una de ellas han sido fruto de las conclusiones que fueron obteniéndose en las anteriores.

Se comenzó trabajando con relleno cerámico de granulometría 5 a 7 mm. Las características del mismo se han recogido en capítulos anteriores. La altura de lecho fue de 1,80m. y su alimentación superior.

Conclusiones definitivas, defensa y líneas futuras de investigación

1.- La puesta en marcha del sistema fue corta, no llegó a una semana.

2.- Al eliminar la capa inferior sin airear se hace necesaria una decantación secundaria.

3.- Los fangos que se recogen en la decantación secundaria tienen aspecto de "madejas" de gran tamaño, que sedimentan rápidamente y son difíciles de evacuar por el sistema de sifonamiento para lavados, según pudo observarse.

4.- Eran necesarios lavados agresivos para conseguir "desapelmazar" el material así como el desprendimiento de los grandes flóculos que se formaban. Sin embargo a pesar de realizar lavados muy agresivos, tanto en caudal de aire como de agua de lavado, no se conseguía la eliminación total de la biomasa, por lo que progresivamente el lecho fue colmatándose y al mes de funcionar con el se tuvo que extraer el relleno, la parte inferior del mismo, que estaba muy colmatada y de nuevo introducir otro. En el segundo mes de funcionamiento volvió a surgir el mismo problema.

5.- La formación de biopelícula era masiva con cargas orgánicas relativamente altas, pero los lavados debían de incrementarse de forma apreciable. Mientras trabajábamos con cargas menores de $1 \text{ kg DBO}_5/\text{m}^3 \cdot \text{d}$, con un lavado cada 24 horas era suficiente, pero al pasar este valor debíamos incrementarlos cada 12 horas para evitar la colmatación, aunque progresivamente al aumentar la carga, los ciclos de lavado

aumentan en cada uno de ellos, se llegó a la colmatación del lecho y abandono del mismo.

6.- Los rendimientos en depuración fueron poco a poco disminuyendo a medida que el lecho se iba colmatando. Los rendimientos medios en esta primera fase fueron:

Tabla n° 11.9.- Rendimientos medios. Relleno cerámico. 1ª fase

	MEDIA	DESVIACION TIPICA	MINIMO	MAXIMO
DQO	27	12,980915	6	49
DBO	31	14,44296	7	55
SS	38	14,110593	12	64

Los rendimientos alcanzados como puede observarse son bajos y no se cumplen las limitaciones establecidas por la legislación vigente para los valores de salida en DBO y en cuanto a los SS sólo en puntos esporádicos, que se resumen en:

Tabla n° 11.10.- Valores medios de salida (mg/l). Relleno cerámico. 1ª fase

	MEDIA	DESVIACION TIPICA	MINIMO	MAXIMO
DQO	283	98,58597	132	521
DBO	120	42,166789	40	285
SS	59	20,152162	27	124

En los gráficos 10.94 a 10.98 puede apreciarse como no se alcanzan las

limitaciones exigidas.

Los rendimientos alcanzados en el reactor biológico se encuentran por debajo de los alcanzados en el decantador primario, lo que indica los bajos niveles de depuración que se alcanzan en esta fase, sobre todo en eliminación de DBO. Consultar gráficos 10.100 y 10.103.

7.- Al trabajar con flujo ascendente, la formación mayor de biomasa era en la parte inferior del lecho, por lo que la eliminación de la misma era imposible. Esto hace imposible trabajar en estas condiciones con alternancia de flujo.

8.- Todo este mal funcionamiento se supuso por la elevada densidad del material, que, saturado alcanzaba 2,7. Por esta razón se buscó un material impermeabilizante, así como se redujo el tamaño de las partículas, para facilitar con todo esto los procesos de lavado y conseguir optimizar resultados. La progresiva saturación del lecho puede apreciarse en los gráficos 10.71 a 10.84.

9.- El material utilizado como impermeabilizante, ya descrito en capítulos anteriores, se disolvía y daba lugar a la formación de espumas y a un efecto semejante al bulking de los fangos activos. Además poco a poco el relleno iba perdiendo su capa impermeabilizante. El intento no funcionó correctamente.

Conclusiones definitivas, defensa y líneas futuras de investigación

10.- Se optó por trabajar con un tamaño menor de relleno, 2-5 mm, aunque sin impermeabilizar y el funcionamiento mejoró. No obstante era difícil todavía realizar los lavados por los motivos ya indicados. Seguía siendo necesaria la decantación secundaria.

11.- Rendimientos medios alcanzados:

Tabla nº 11.11.- Rendimientos medios. Relleno cerámico. 5ª fase

	MEDIA	DESVIACION TIPICA	MINIMO	MAXIMO
DQO	41	20,74547	12	82
DBO	47	22,73092	16	92
SS	50	20,61897	18	91

12.- Valores medios de salida alcanzados:

Tabla nº 11.12.- Valores medios de salida (mg/l). Relleno cerámico. 5ª fase

	MEDIA	DESVIACION TIPICA	MINIMO	MAXIMO
DQO	294	111,86143	87	527
DBO	116	59,84340	16	255
SS	46	21,81450	8	94

13.- Los valores medios exigidos para la DBO de salida se cumplen con cargas inferiores a 1'5 kg DBO₅/m³.d.

Conclusiones definitivas, defensa y líneas futuras de investigación

14.- Con los SS se cumplen las limitaciones exigidas para cargas menores de 2,25 kg DBO/m³.d, da una salida < 35 mg/l, es decir, cumple los límites exigidos por la legislación.

15.- Si se relaciona la DBO de salida con la carga de SS de entrada, siempre nos encontramos sobre el valor límite, 25 mg/l.

16.- Si se relaciona los SS de salida con la carga de SS de entrada, se cumple el límite exigido, 35 mg/l, hasta cargas de algo más de 1 kg SS/m³.d.

17.- Aunque los rendimientos de depuración han mejorado con la disminución del tamaño de relleno, todavía no se alcanzan los límites establecidos. Se podría utilizar para pequeñas poblaciones, cargas muy bajas, pero igual que se indicó en el relleno plástico, los costes de aireación son elevados y en el caso del relleno cerámico los caudales de aire de proceso necesarios son mucho mayores que en con el relleno plástico. Estos bajos rendimientos se deben a los procesos de colmatación del lecho. En el gráfico 10.140 se observa como los rendimientos disminuyen con incrementos de caudal. Estos gráficos se han obtenido de esta forma porque no se ha trabajado correctamente con los caudales de aire ya que se han realizado incrementos de caudal de aire cuando se tenían incrementos de caudal de entrada y como con los incrementos de caudal se incrementaban las cargas de entrada y por tanto se reducían los rendimientos, aparece este resultado final que no es muy concluyente.

Conclusiones definitivas, defensa y líneas futuras de investigación

18.- Ante estos resultados se pensó en la posibilidad de reducir la altura de lecho, permitiendo de esta forma facilitar los procesos de lavado. Para ello se tomaron en esta misma fase muestras a distintos niveles del lecho y se llegó a la conclusión de que reduciendo la altura de lecho a un metro, los niveles de depuración que se podrían alcanzar serían aproximadamente igual que con 1,80 m de altura de lecho y simultáneamente se conseguirían facilitar los procesos de lavado. El estudio de depuración a distintos niveles puede verse muy bien en los gráficos 10.157 a 10.175.

19.- Los lavados que se necesitaban eran muy agresivos, con elevados consumos de aire y agua de lavado, y aún así no se conseguían buenos resultados. Los gráficos 10.142 a 10.144 muestran como se incrementan de forma apreciable las necesidades de agua y aire de lavado con un incremento de las cargas de DBO de entrada, aunque existe una gran dispersión de puntos.

20.- En los gráficos 10.138 y 10.139 aparecen porcentajes de depuración en el lecho y el decantador primario, en DBO y SS, siendo estos porcentajes más lógicos que los obtenidos en fases anteriores, es decir mayor eliminación de DBO en el filtro biológico y aproximadamente los mismos rendimientos en SS en el filtro y en la decantación primaria.

21.- Como se observó que los fangos decantaban con gran rapidez, se hizo un estudio de la sedimentabilidad de los mismos. Este estudio se hizo sobre cuatro muestras,

Conclusiones definitivas, defensa y líneas futuras de investigación

y se puede observar en los gráficos 10.145 a 10.149 como en una media de 3,5 minutos (consultar tabla 10.101) se consigue la sedimentación de los fangos. Esto puede concluir con necesidades de decantación secundarias, pero se pueden optimizar estos decantadores y reducir la superficie necesaria para ellos.

22.- Los lavados realizados eran muy agresivos, por lo que se hizo un análisis de la capacidad de recuperación del lecho. Para ello en esta fase (5ª) se hicieron estudios en cuatro muestras, y se observó como en cuatro horas, después de realizar el lavado se alcanza prácticamente en todos los casos el máximo nivel de depuración. Ver gráficos 10.150 a 10.156.

23.- Las observaciones microscópicas muestran predominio de colonias de Zooglea ramigera (amorfás y dactiformes), principalmente. Esto es indicativo de la falta de oxígeno y por tanto de una mala distribución del aire inyectado.

24.- Aumento del pH importante en el lecho, encontrándose sobre entre 8 y 8,5. Cuanto mayor es la colmatación del lecho mayor es el pH.

Para una mejor clasificación de los rendimientos en función de las cargas orgánicas e hidráulicas, se ha realizado una división propia para el funcionamiento con este tipo de relleno, que permite hacer una estimación de los rendimientos que podrían obtenerse en función de los parámetros de diseño. Esto se recoge en la tabla nº 10.116.

Tabla n° 11.13.- Parámetros de diseño

	BAJA CARGA	MEDIA CARGA	ALTA CARGA
Carga orgánica (kg DBO/m ³ .d)	< 1,5	1,5-3	>3
Carga hidráulica (m ³ /m ² .h)	< 0,6	0,6-1,3	>1,3

Esta clasificación se ha hecho en función de una serie de datos muy diversos. Como puede observarse en los gráficos que se adjuntan la nube de puntos es muy importante cuando hablamos de rendimientos en función de cargas.

De todos modos los rendimientos obtenidos en función de estos parámetros de diseño son los siguientes:

Tabla n° 11.14.- Rendimientos medios y necesidades de lavado. Baja carga

	Baja carga				
	DQO	DBO	SS	Agua de lavado (l)	Aire de lavado (l)
Media	61	71	67	36	12
Mediana	78	88	74	33	12
Desviación típica	26,143	26,203	21,992	6,335	0
Mínimo	12	16	18	33	12
Máximo	82	92	90	50	12

Tabla n° 11.15.- Rendimientos medios. Media carga

	Media carga				
	DQO	DBO	SS	Agua de lavado (l)	Aire de lavado (l)
Media	47	53	62	50	12
Mediana	46	52	60	50	12
Desviación típica	8,853	9,398	11,695	0	0
Mínimo	33	40	43	50	12
Máximo	68	76	91	50	12

Tabla n° 11.16.- Rendimientos medios. Alta carga

	Alta carga				
	DQO	DBO	SS	Agua de lavado (l)	Aire de lavado (l)
Media	26	29	33	204	30
Mediana	25	28	33	250	35
Desviación típica	5,157	4,869	6,619	113,671	14,347
Mínimo	17	20	23	50	12
Máximo	36	40	51	333	47

Esto es para granulometrías de 2 a 5 mm, ya que se ha concluido que tamaños mayores no son recomendables.

Todo esto se va a recoger en los siguientes gráficos que se adjuntan en el Anejo

n° 5:

- Gráfico n° 11.11.- Conclusiones. Relleno cerámico. Rendimientos DBO y SS en función de la carga de DBO de entrada. Granulometría 2 a 5 mm.
- Gráfico n° 11.12.- Conclusiones. Relleno cerámico. Rendimientos DBO y SS en función de la carga de SS de entrada. Granulometría 2 a 5 mm
- Gráfico n° 11.13.- Conclusiones. Relleno cerámico. Estimación DBO y SS de salida en función de la carga DBO de entrada. Granulometría 2 a 5 mm
- Gráfico n° 11.14.- Conclusiones. Relleno cerámico. Estimación DBO y SS de salida en función de la carga SS de entrada. Granulometría 2 a 5 mm
- Gráfico n° 11.15.- Conclusiones. Relleno cerámico. kg oxígeno consumidos en función de la carga de DBO eliminada. Granulometría 2 a 5 mm.
- Gráfico n° 11.16.- Conclusiones. Relleno cerámico. Volumen de agua de lavado en función de la carga de DBO. Granulometría 2 a 5 mm.
- Gráfico n° 11.17.- Conclusiones. Relleno cerámico. Volumen de aire de lavado en función de la carga de DBO. Granulometría 2 a 5 mm
- Gráfico n° 11.18.- Conclusiones. Relleno cerámico. % agua de lavado respecto de la de entrada. Granulometría 2 a 5 mm
- Gráfico n° 11.19.- Conclusiones. Relleno cerámico. Sedimentabilidad del fango. Granulometría 2 a 5 mm.

No se han tratado resultados con granulometrías de 5 a 7 mm ya que se ha

concluido que es demasiado grande.

11.3.- CONCLUSIONES DEFINITIVAS. DOBLE CAPA

Con esta etapa de trabajo los rendimientos obtenidos en la capa de relleno cerámico son análogos a la fase anterior, pero se observa como se consiguen afinar los resultados y suprimir la decantación secundaria ya que el relleno plástico fuertemente comprimido por la capa de relleno cerámico que había sobre él, sirvió como "filtro". Esto indica la posibilidad de eliminar una decantación secundaria si se coloca un filtro de arena tras el filtro biológico, aunque se piensa todavía en la posibilidad de que existan problemas de colmatación. En este caso se tuvieron problemas con los lavados, aunque se supone fueron debidos, al filtro que separaba las dos capas.

11.4.- RESUMEN DE CONCLUSIONES

A continuación se va a realizar un resumen de todas las conclusiones ampliamente descritas anteriormente.

11.4.1.- Relleno plástico

1.- El funcionamiento del lecho con este material como soporte biológico es secuencial, ya que se producen desprendimientos espontáneos de la biopelícula cada 8 días aproximadamente, obligando a una decantación secundaria o filtro de arena si el flujo es descendente.

Conclusiones definitivas, defensa y líneas futuras de investigación

2.- La biopelícula presentó un alto grado de crecimiento con gran número de amebas y Vorticellasy con pocas bacterias filamentosas.

3.- La flotabilidad del relleno produce una compactación de este, dejando la parte inferior suelta, dando lugar de esta forma a una mala distribución del aire que obliga a lavar sólo cada 48 horas aproximadamente para mantener viva la biopelícula interior. Se podría lavar con agua en sentido descendente.

4.- La carga volúmica para alcanzar los rendimientos exigidos por la legislación se mueve entre 0,5 y 0,75 kg DBO₅/m³.d. Modificaciones del relleno, tanto en forma como en densidad aumentarían esta cargas. Esto podría conseguirse por ejemplo con incrustaciones de arena silícea.

5.- El obligar a que el relleno permenezca sumergido no produce mejoras de ningún tipo y su funcionamiento es incorrecto ya que la planta piloto no está preparada para este tipo de funcionamiento.

11.4.2.- Relleno cerámico

1.- La adherencia de la biopelícula al relleno facilita una pronto puesta en marcha, aproximadamente 6 días. El gran tamaño y características de los flóculos obliga a lavados con más del 50% de caudal tanto de aire como de agua, no consiguiendo un lavado efectivo, y dando lugar a una interrupción del proceso por colmatación a los 40 días

Conclusiones definitivas, defensa y líneas futuras de investigación

aproximadamente con el flujo descendente y a los 5 días con ascendente (lógicamente dependerá de las cargas que se apliquen al lecho).

3.- Con cargas menores de 1 kg DBO₅/m³.d son necesarios lavados cada 24 horas y si aumentamos hasta 1,5 se hacen necesarios cada 12 horas.

4.- Con granulometría de 2 a 5 mm puede llegarse a cumplir los límites impuestos en la legislación con cargas inferiores a 1 kg DBO₅/m³.d en cuanto a la DBO₅, se refiere, y alrededor de 2 en lo que se refiere a los sólidos. Es necesario reducir la altura de filtro ensayada para conseguir un lavado correcto dada la elevada densidad del relleno, que saturado alcanza un valor de 2,7.

5.- La impermeabilización puede ser un camino para no aumentar la densidad, aunque la resina ensayada produce espumas y efectos de flotabilidad, así como un deterioro de su impermeabilización, es decir, no fue efectiva.

6.- No hay posibilidades de ir a alternancias de flujo con el lecho tal y como se ha ensayado.

7.- Rápida recuperación del lecho tras los lavados.

11.5.- COMPARACION ENTRE SISTEMAS

Finalmente se va a hacer una comparación entre los siguientes sistemas de depuración:

- Relleno plástico. Flujo descendente. Con decantación secundaria
- Relleno plástico. Flujo ascendente. Sin decantación secundaria
- Relleno cerámico. Flujo descendente. Con decantación secundaria y granulometría 2 a 5 mm
- Fangos activos. Para lo que se utilizarán los valores medios obtenidos en la Depuradora Sur simultáneamente a nuestra investigación.

Los resultados se van a recoger en las siguientes tablas:

- Tabla 11. 16.- Rendimientos medios
- Tabla 11.17.- Valores medios de salida

y en los siguientes gráficos:

- Gráfico nº 11.20.- Conclusiones. Comparación entre sistemas. Rendimientos medios en DBO
- Gráfico nº 11.21.- Conclusiones. Comparación entre sistemas. Rendimientos medios en SS

Estos gráficos se adjuntan en el Anejo nº 5.

Tabla nº 11.16.- Rendimientos medios

	DQO	DBO	SS
Relleno plástico. Flujo descendente. Con decantación	40	45	53
Relleno plástico. Flujo ascendente. Sin decantación	40	47	55
Relleno cerámico. Flujo descendente. Con decantación. Granulometría 2 a 5 mm	41	47	50
Fangos activos	81	90	78

Tabla nº 11.17.- Valores medios de salida (mg/l)

	DQO	DBO	SS
Relleno plástico. Flujo descendente. Con decantación	200	80	32
Relleno plástico. Flujo ascendente. Sin decantación	174	77	34
Relleno cerámico. Flujo descendente. Con decantación. Granulometría 2 a 5 mm	294	116	46
Fangos activos	90	22	21

Puede observarse como con los materiales estudiados estamos muy lejos de alcanzar los resultados que se puedan obtener con los fangos activos, aunque en realidad, con soportes adecuados se consigue mejorar el funcionamiento de estos últimos. De los sistemas estudiados el que da resultados más favorables es del plástico con flujo ascendente y sin decantación secundaria, seguido del plástico con flujo descendente y decantación secundaria y en último lugar el relleno cerámico con flujo descendente y decantación secundaria (granulometría 2 a 5 mm).

11.6.- LINEAS FUTURAS DE INVESTIGACION

Ante las conclusiones obtenidas se proponen una serie de líneas futuras de investigación:

a) Relleno plástico

- Mejorar características de superficie y densidad, es decir, conseguir mayor rugosidad y densidad para evitar los problemas de desprendimiento de biopelícula y flotabilidad del lecho.

- Trabajar con un filtro de arena tras el reactor biológico con el relleno tal y como se ha estudiado en esta investigación.

- Trabajar en forma de lecho fluidificado, para lo que sería necesario una mejora en los sistemas de distribución de aire de proceso.

- Trabajar con alternancia de flujo.

b) Relleno cerámico

- Realizar una investigación paralela a la realizada reduciendo la altura de lecho.

- Buscar otro material impermeabilizante que sea capaz de trabajar en este medio sin degradarse para conseguir lechos con mayor altura y por tanto disminuir las necesidades de superficie.

- Trabajar con un lecho de arena tras el reactor biológico.

- Trabajar con alternancia de flujo.

- Profundizar en la doble capa.