

E.T.S.I. CAMINOS
BIBLIOTECA
CDU T-628
AUTOR OSO
TITULO ope

UNIVERSIDAD DE GRANADA
E.T.S. DE INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS
(DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL)



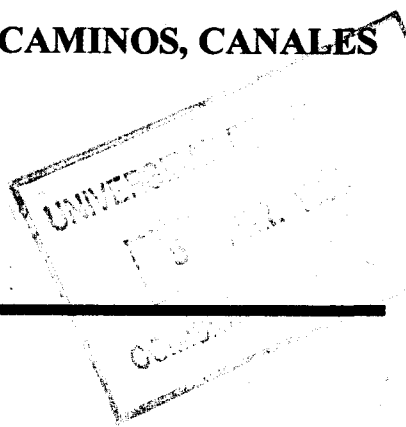
TESIS DOCTORAL:

**“OPTIMIZACIÓN DE LECHOS INUNDADOS CON
SOPORTE DE RESIDUOS RECICLADOS”**

Por
FRANCISCO OSORIO ROBLES
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

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


Granada, Abril de 1.998



BIBLIOTECA DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE GRANADA
Código No 573106
573107

TESIS DOCTORAL

**“OPTIMIZACIÓN DE LECHOS INUNDADOS CON SOPORTE DE RESIDUOS
RECICLADOS”**



Autor

FRANCISCO OSORIO ROBLES



Director de Tesis

D. ERNESTO HONTORIA GARCÍA

Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

TRIBUNAL CALIFICADOR

PRESIDENTE:	D. Aurelio F. Hernández Muñoz
VOCAL:	D. Miguel A. Gutiérrez Ferrández
VOCAL:	D. Juan Saura Martínez
VOCAL:	D. José Rubió Bosch
SECRETARIO:	D. Juan M. Cardenete López

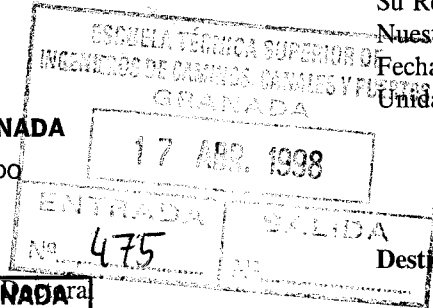
Acuerda otorgar la calificación de,

Granada, 27 de Abril de 1.998

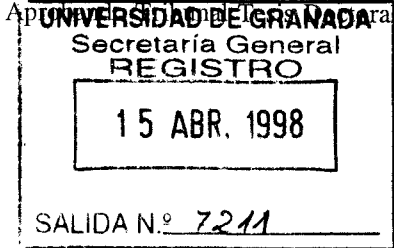


UNIVERSIDAD DE GRANADA
COMISION DE DOCTORADO

Fecha: 11 de abril de 1998
Su Refª.
Nuestra Refª.
Fecha de Salida:
Unidad de Origen: COMISIÓN DE DOCTORADO



Asunto:



Destinatario:

Ilmo Sr. Decano de la E.T.S. INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
E.T.S. INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
GRANADA

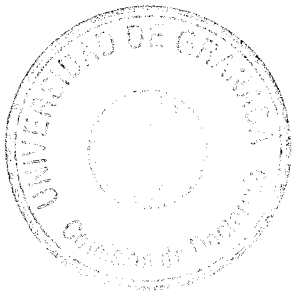
Vista la propuesta formulada por la Comisión de Doctorado de esta Universidad, de fecha dieciseis de Marzo de 1998.

ESTE RECTORADO, ha resuelto prestar su aprobación al Tribunal que ha de juzgar la Tesis doctoral presentada por el licenciado **D. FRANCISCO OSORIO ROBLES** en el departamento de INGENIERIA CIVIL y en la E.T.S. INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS y conferirle el grado de Doctor en su caso, quedando constituido el Tribunal de la forma siguiente:

- PRESIDENTE:** Dr. D. AURELIO FELIX HERNANDEZ MUÑOZ (*UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID*)
- VOCALES:** Dr. D. MIGUEL ANGEL GUTIERREZ FERNANDEZ (*UNIVERSIDAD DE GRANADA*)
Dr. D. JUAN SAURA MARTINEZ (*UNIVERSIDAD DE SEVILLA*)
Dr. D. JOSE RUBIO BOSCH (*UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID*)
- SECRETARIO** Dr. D. JUAN MANUEL CARDENETE LOPEZ (*UNIVERSIDAD DE GRANADA*)
- SUPLENTE** Dr. D. JESUS GONZALEZ LOPEZ (*UNIVERSIDAD DE GRANADA*)
Dr. Dña. MONTSERRAT ZAMORANO TORO (*UNIVERSIDAD DE GRANADA*)

Significándole, que caso de tener que recurrir a los miembros suplentes, el Tribunal, en el momento de constituirse, deberá cumplir los requisitos establecidos en el art. 9 del Real Decreto 185/1985 de 23 de enero.

EL RECTOR



Rojas

Francisco Rojas García
V.º Rector
M.º 1998
Comisión de Doctorado

[Handwritten mark]

INDICE

1.- INTRODUCCIÓN	1
2.- OBJETIVOS DE LA TESIS	22
2.1.- Objetivo principal	23
2.2.- Objetivos secundarios	23
3.- SITUACIÓN ACTUAL DE LA TÉCNICA	27
3.1.- Metodología empleada en la Investigación Bibliográfica	28
3.2.- Descripción de los filtros biológicos inundados	31
3.2.1.- Conceptos generales	31
3.2.2.- El lavado	34
3.2.3.- Tipos de flujo de los fluidos	35
3.2.3.1.- Flujo contra-corriente	35
3.2.3.2.- Flujo co-corriente	35
3.3.- Historia de los filtros biológicos inundados	37
3.4.- Los filtros biológicos inundados en el panorama de los procesos biológicos avanzados	41
3.4.1.- Procesos de cultivo en suspensión	42
3.4.2.- Procesos de cultivo mezclado o mixto	44
3.4.3.- Procesos de cultivo fijo	45
3.4.3.1.- Reactores biopelícula de lecho fijo	45
3.4.3.2.- Biorreactores de lecho móvil	46
3.5.- Posición y papel de la biofiltración en la línea de tratamiento del agua	50
3.6.- Resultados y experiencias recopiladas en distintas referencias bibliográficas	56
3.6.1.- Cargas de trabajo	57
3.6.2.- Rendimientos y niveles de depuración de salida	65
3.6.3.- Necesidades de aireación	72
3.6.4.- Necesidades del lavado	75
3.6.5.- Material de relleno	77
3.6.6.- Efecto de la temperatura	78
3.6.7.- Producción de fangos	80
3.7.- Presentación de algunas patentes y plantas piloto experimentales	82
3.7.1.- BIOFOR (Degrémont; Lionesa de Aguas)	82
3.7.1.1.- Características básicas del proceso	82
3.7.1.2.- Diagrama de flujos	83
3.7.2.- BIOCARBONE, BIOSTYR Y BIOPUR (O.T.V.; Compañía General de Aguas)	84
3.7.2.1.- Características básicas de los procesos experimentales	84
3.7.2.2.- Diagrama de flujo del proceso BIOCARBONE	85
3.7.2.3.- Realización a escala real de un proceso BIOCARBONE	88

3.7.2.4.- Diagrama de flujo del proceso BIOSTYR	88
3.7.2.5.- Diagrama de flujo del proceso BIOPUR	90
3.8.- Otros campos de estudio en los filtros biológicos y perspectivas de futuro	90
3.8.1.- Biofiltración sin lavados	90
3.8.2.- Filtración en continuo	93
3.8.3.- Filtración en lecho seco con sistema multi-capa	94
3.8.4.- Estudio de la biopelícula	96
3.8.5.- Otras líneas y aplicaciones de interés referentes a filtros biológicos inundados	97
4.- VARIABLES Y PARÁMETROS	100
4.1.- Variables	101
4.1.1.- Caudal de agua	101
4.1.2.- Carga contaminante aplicada	101
4.1.3.- Caudal de aire de proceso	105
4.1.4.- Material de relleno	106
4.1.5.- Variables referidas al lavado	106
4.1.6.- Temperatura	107
4.1.7.- Potencia instalada de los equipos mecánicos	107
4.2.- Parámetros	107
4.2.1.- Parámetros físicos	108
4.2.1.1.- Sólidos	108
4.2.1.2.- Turbidez	109
4.2.2.- Parámetros químicos	109
4.2.2.1.- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	109
4.2.2.2.- Demanda Química de Oxígeno (DQO)	111
4.2.2.3.- pH	111
4.2.2.4.- Nitrógeno	112
4.2.2.5.- Fósforo	115
4.2.2.6.- Otros parámetros químicos	116
4.2.3.- Parámetros biológicos	117
4.2.4.- Parámetros organolépticos	118
5.- MATERIALES Y MÉTODOS	119
5.1.- Métodos estadísticos	120
5.2.- Metodología analítica	124
5.2.1.- Parámetros organolépticos	125
5.2.1.1.- Color	125
5.2.1.2.- Turbidez	127
5.2.1.3.- Olor	128
5.2.2.- Parámetros físico-químicos	129
5.2.2.1.- Temperatura	129
5.2.2.2.- pH	130
5.2.2.3.- Conductividad	133
5.2.2.4.- Oxígeno disuelto	135
5.2.2.5.- Sólidos en suspensión, disueltos y totales	136

5.2.2.6.- Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO ₅)	140
5.2.2.7.- Demanda Química de Oxígeno (DQO)	149
5.2.2.8.- Parámetros físico-químicos (nutrientes y/o tóxicos)	153
5.2.2.8.1.- Nitratos	153
5.2.2.8.2.- Nitritos	154
5.2.2.8.3.- Amonio	155
5.2.2.8.4.- Nitrógeno Kjeldahl	157
5.2.2.8.5.- Carbono Orgánico Total (COT)	158
5.2.2.8.6.- Fósforo	159
5.2.2.8.7.- Métodos de análisis para metales pesados	161
5.2.2.9.- Densidad aparente, porosidad y granulometría	173
5.2.2.10.- Permeabilidad	178
5.2.3.- Parámetros microbiológicos	180
5.2.3.1.- Coliformes totales	180
5.2.3.2.- Coliformes fecales	182
5.3.- Características de los materiales de relleno utilizados	183
5.4.- Medida del caudal de aire: Calibración de los aparatos de medición	188
5.4.1.- Distintas alternativas planteadas	188
5.4.2.- Características de los rotámetros utilizados	190
5.4.3.- Calibración de los rotámetros medidores del caudal de aire	191
5.4.4.- Unidades de medida del caudal de aire	202
6.- INVESTIGACIÓN DE CHOQUE	203
6.1.- Descripción y Puesta a punto de la planta piloto	204
6.2.- Plan de trabajo	209
6.2.1.- Introducción	209
6.2.2.- Metodología para la toma de datos	211
6.2.2.1.- Toma de muestras	211
6.2.2.2.- Analítica de las muestras	212
6.2.3.- Fases de trabajo en la Investigación de Choque	213
6.3.- Resultados analíticos	215
6.3.1.- Fase nº1: Relleno Cerámico (0,8 metros); Caudal de aire = 0,2 Kg. O ₂ / hora (11,2 Nm ³ / m ² / h, de aire)	215
6.3.2.- Fase nº2: Relleno Cerámico (0,8 metros); Caudal de aire = 0,7 Kg. O ₂ / hora (38,75 Nm ³ / m ² / h, de aire)	218
6.3.3.- Fase nº3: Relleno Cerámico (1,2 metros); Caudal de aire = 0,7 Kg. O ₂ / hora (38,75 Nm ³ / m ² / h, de aire)	221
6.3.4.- Fase nº4: Relleno Cerámico (1,2 metros); Caudal de aire = 0,2 Kg. O ₂ / hora (11,2 Nm ³ / m ² / h, de aire)	224
6.3.5.- Representación gráfica de algunos resultados, en	

función del tiempo	228
6.4.- Estudio sistemático de la relación entre variables y parámetros	233
6.4.1.- Cargas de trabajo aplicadas	233
6.4.2.- Caracterización estadística de los resultados	237
6.4.2.1.- Fase nº1: Relleno Cerámico (0,8 metros); Caudal de aire = 0,2 Kg. O ₂ / hora (11,2 Nm ³ / m ² / h, de aire)	237
6.4.2.2.- Fase nº2: Relleno Cerámico (0,8 metros); Caudal de aire = 0,7 Kg. O ₂ / hora (38,75 Nm ³ / m ² / h, de aire)	241
6.4.2.3.- Fase nº3: Relleno Cerámico (1,2 metros); Caudal de aire = 0,7 Kg. O ₂ / hora (38,75 Nm ³ / m ² / h, de aire)	245
6.4.2.4.- Fase nº4: Relleno Cerámico (1,2 metros); Caudal de aire = 0,2 Kg. O ₂ / hora (11,2 Nm ³ / m ² / h, de aire)	249
6.4.3.- Estudio, por fases, de las cargas de trabajo admisibles	253
6.4.4.- Presentación gráfica de la relación entre variables y parámetros	257
6.5.- Conclusiones previas	278
6.5.1.- Conclusiones principales	278
6.5.2.- Otras conclusiones	280
7.- MODIFICACIÓN DE LAS BASES DE PARTIDA	282
7.1.- Objetivos finales	283
7.1.1.- Objetivos finales principales	283
7.1.2.- Objetivos finales secundarios	286
7.2.- Variables y parámetros adoptados	286
7.2.1.- Variables	286
7.2.2.- Parámetros	287
7.3.- Modificaciones de la planta piloto	287
8.- DISEÑO DE LA NUEVA PLANTA PILOTO	291
8.1.- Introducción	292
8.2.- Descripción del funcionamiento	294
8.2.1.- Circuito de aire	294
8.2.2.- Circuito de agua bruta	298
8.2.3.- Circuito de recirculación	299
8.2.4.- Circuito de lavado	299
8.2.5.- Circuito de agua filtrada	299
8.2.6.- Toma de muestras	300
8.2.7.- Lavado del Reactor Biológico o Filtro de Arena	301
8.3.- Descripción del software	302
8.3.1.- Características generales del sistema	302
8.4.- Descripción de los automatismos	303

8.4.1.- Modos de funcionamiento	303
8.4.2.- Avería	303
9.- PUESTA A PUNTO DE LA NUEVA PLANTA PILOTO	304
9.1.- Montaje y Puesta en marcha de la nueva planta piloto	305
9.2.- Plan de trabajo	310
9.2.1.- Introducción	310
9.2.2.- Rellenos utilizados	314
9.2.3.- Metodología para la toma de datos	314
9.2.3.1.- Toma de muestras	314
9.2.3.2.- Analítica de las muestras	316
9.2.4.- Fases de trabajo de la Investigación seguida durante la Puesta a punto de la nueva planta piloto	317
9.2.4.1.- Introducción	
9.2.4.2.- Relleno Cerámico en Reactor Biológico (1 metro) y Arena silíceo en Filtro de Arena (1,25 metros)	319
9.2.4.2.1.- Fase con escasa aireación y lavados someros	319
9.2.4.2.2.- Fase con válvula de la cámara de recirculación abierta, elevada aireación, lavados someros	322
9.2.4.3.- Relleno Cerámico en Reactor Biológico (1,5 metros) y Arena silíceo en Filtro de Arena (1,25 metros)	324
9.2.4.3.1.- Fase con válvula de la cámara de recirculación abierta, aireación diversa, lavados someros	324
9.2.4.3.2.- Fase con válvula de la cámara de recirculación cerrada, aireación adecuada, lavados someros	327
9.3.- Análisis de los resultados analíticos	329
9.3.1.- Introducción	329
9.3.2.- Análisis de los resultados analíticos	331
9.3.2.1.- Fases 1ª, 2ª y 3ª: Relleno Cerámico (1 metro); Filtro de Arena (1,25 metros)	332
9.3.2.2.- Fases 4ª, 5ª y 6ª: Relleno Cerámico (1,5 metros); Filtro de Arena (1,25 metros)	334
9.3.3.- Presentación gráfica de la relación entre variables y parámetros	336
9.4.- Conclusiones básicas de la Investigación seguida durante la Puesta a punto de la nueva planta piloto	342
10.- INVESTIGACIÓN DE FONDO	345
10.1.- Modificación definitiva de las bases de partida	346
10.1.1.- Modificaciones en la planta piloto	346
10.1.2.- Establecimiento de las bases para diseñar un Plan	

de trabajo	348
10.1.2.1.- Relleno Cerámico	349
10.1.2.2.- Filtro de Arena	349
10.1.2.3.- Relleno Doble Capa	350
10.2.- Plan de trabajo	353
10.2.1.- Rellenos utilizados	353
10.2.2.- Metodología para la toma de datos	354
10.2.3.- Fases de trabajo en la Investigación de Fondo	354
10.3.- Resultados analíticos	355
10.3.1.- Fase nº1: Relleno Cerámico (1,5 metros); Filtro de Arena (1,25 metros); Caudal de aire = 0,2 Kg. O ₂ / hora (11,2 Nm ³ / m ² / h, de aire)	355
10.3.2.- Fase nº2: Relleno Cerámico (1,5 metros); Filtro de Arena (1,25 metros); Caudal de aire = 0,7 Kg. O ₂ / hora (38,75 Nm ³ / m ² / h, de aire)	363
10.3.3.- Fase nº3: Relleno Doble Capa (Flujo contra-corriente); Filtro de Arena (0,75 metros); Caudal de aire = 0,13 Kg. O ₂ / hora (7,26 Nm ³ / m ² / h, de aire)	372
10.3.4.- Fase nº4: Relleno Doble Capa (Flujo contra-corriente); Filtro de Arena (0,75 metros); Caudal de aire = 0,2 Kg. O ₂ / hora (11,2 Nm ³ / m ² / h, de aire)	378
10.3.5.- Fase nº5: Relleno Doble Capa (Flujo co-corriente); Filtro de Arena (0,75 metros); Caudal de aire = 0,13 Kg. O ₂ / hora (7,26 Nm ³ / m ² / h, de aire)	385
10.3.6.- Representación gráfica de algunos resultados, en función del tiempo	392
10.4.- Estudio sistemático de la relación entre variables y parámetros	398
10.4.1.- Cargas de trabajo aplicadas	398
10.4.2.- Caracterización estadística de los resultados	408
10.4.2.1.- Fase nº1: Relleno Cerámico (1,5 metros); Filtro de Arena (1,25 metros); Caudal de aire = 0,2 Kg. O ₂ / hora (11,2 Nm ³ /m ² /h, de aire)	408
10.4.2.2.- Fase nº2: Relleno Cerámico (1,5 metros); Filtro de Arena (1,25 metros); Caudal de aire = 0,7 Kg. O ₂ / hora (38,75 Nm ³ /m ² /h, de aire)	413
10.4.2.3.- Fase nº3: Relleno Doble Capa (Flujo contra-corriente); Filtro de Arena (0,75 metros); Caudal de aire = 0,13 Kg. O ₂ / hora (7,26 Nm ³ / m ² / h, de aire)	419
10.4.2.4.- Fase nº4: Relleno Doble Capa (Flujo contra-corriente); Filtro de Arena (0,75 metros); Caudal de aire = 0,2 Kg. O ₂ / hora (11,2 Nm ³ / m ² / h, de aire)	424
10.4.2.5.- Fase nº5: Relleno Doble Capa (Flujo co-	

-corriente); Filtro de Arena (0,75 metros); Caudal de aire = 0,13 Kg. O ₂ / hora (7,26 Nm ³ / m ² / h, de aire)	430
10.4.3.- Estudio, por fases, de las cargas de trabajo admisibles	435
10.4.4.- Presentación gráfica de la relación entre variables y parámetros	443
11.- ANÁLISIS ESTADÍSTICO MULTIVARIANTE DE LOS RESULTADOS	474
12.- ESTUDIO DEL LAVADO	501
13.- ANÁLISIS DEL SEGUIMIENTO DE LOS COMPUESTOS NITROGENADOS	508
14.- CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN	525
14.1.- Conclusiones y Recomendaciones	526
14.2.- Líneas futuras de investigación	529
ANEJOS	531
ANEJO I.- Barrido bibliográfico	532
ANEJO II.- Reportaje fotográfico	589

1.- INTRODUCCIÓN

El agua es un bien necesario y escaso. Pueden encontrarse numerosas referencias históricas alusivas al tema. Uno de los aspectos más elementales en la metodología de asedio durante la ya dilatada historia de las guerras en el mundo, ha sido el control del abastecimiento del agua a las ciudades.

Por citar algunos casos épicos, *Robert Graves* transmite certeramente este carácter, casi rutinario de la operación, en el devenir bélico del Conde Belisario (Siglo VI d.C.). Consta en los Anales de la Historia cómo Hernán Cortés (Siglo XVI) precipitó la asfixia del pueblo azteca, encerrado en su capital Tenochtitlán, fortaleciendo su posición con el dominio del acueducto de Chapultepec (símbolo de la magnífica técnica ingenieril de esta civilización precolombina).

Trasladados a épocas más recientes, el documento que plasma para siempre, dejando constancia escrita de una verdad tan sólida y constatable, es la *Carta Europea del Agua* (promulgada por el Consejo de Europa en su reunión de Estrasburgo en Mayo de 1.967). Los principios básicos enunciados son:

- ✓ Sin agua no hay vida posible

- ✓ Los recursos de agua no son inagotables

- ✓ El agua es de patrimonio común y se hace necesaria su protección

La *autodepuración* de los ríos y, en general, de la naturaleza, consiste en la lucha de éstos contra su propia contaminación por vías físicas, químicas o biológicas (*Depuración de aguas residuales*; A. Hernández, 1.994). De hecho, cuando en nuestro siglo aparecen las primeras Estaciones Depuradoras a gran escala, construídas a partir de conocimientos teóricos más desarrollados, el hombre se limita a trasladar a espacios controlados y reducidos lo que encuentra en el poso de siglos de observación, y que la naturaleza le ha transmitido.

La captación y drenaje de aguas pluviales data de tiempos antiguos; en cambio, las aguas residuales sólo empiezan a recogerse de una forma más sistemática desde el siglo XIX (anteriormente se repetía con frecuencia la imagen de vecinos vertiendo a la vía pública sus aguas de desecho y siendo evacuadas gracias a la pendiente de la calle).

En nuestros días, asistimos a una *contaminación masiva* del agua, víctima del estatus de vida practicada en la sociedad moderna. Se entiende por contaminación: "la acción y efecto de introducir materias o formas de energía, o inducir condiciones en el agua que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica" (Art. 233 del *Reglamento del Dominio Público Hidráulico que desarrolla la Ley 29/1985 de Aguas*).

La contaminación, según esta misma fuente, puede ser de origen natural o artificial, según sea producida sin la intervención del hombre y la influencia de sus actividades o debido a su presencia. Se acostumbra en todos los campos medioambientales a despreciar la contaminación natural y, en muchos casos, no es de ningún modo despreciable (véanse casos tan señalados como las lluvias ácidas, generadas por la contaminación del agua en la propia atmósfera, la disolución de sales minerales del suelo en los cursos de agua, o el arrastre de partículas terrosas que enturbian el agua).

Por tanto, es fácil colegir que la definición de la Ley sólo corresponde a la contaminación artificial y liga la composición de las aguas a los usos que pueden quedar perturbados.

La contaminación natural no se ha modificado en gran medida a lo largo de la existencia del planeta. En el otro plato de la balanza, se tiene que la sociedad moderna constituye un gigantesco aparato de producción de residuos, tanto sólidos como líquidos (sin considerar los gaseosos generados en la industria que le provee de los bienes que demanda).

Por tanto, las principales causas que agravan y desbordan el problema de la contaminación en nuestro siglo son:

- ✓ Las dotaciones para los distintos usos del agua se han multiplicado en los últimos años; se ha pasado de 20 litros por habitante equivalente y día de agua potable en 1.880, a 300 o más litros en los últimos años, siendo los servicios urbanos e industriales los causantes de éllo.

En España existen en la actualidad tres millones de hectáreas de regadío por un sólo millón hace un siglo (y con dotaciones mucho más escasas entonces).

✓ La presión demográfica ha constituido una característica básica de este siglo, alcanzando nuestro país los 40 millones de habitantes frente a los 16 millones de 1.880.

El *agua residual* puede definirse como la combinación de los residuos líquidos, o aguas portadoras de residuos, procedentes tanto de residencias como de instituciones públicas y establecimientos industriales y comerciales, a los que pueden agregarse, eventualmente, aguas subterráneas, superficiales y pluviales (Metcalf & Eddy, ed. de 1.995).

La contaminación de la que es portadora el agua residual produce diversos efectos perniciosos, de variada índole (medioambiental, económica y sociocultural), entre los que destacan (M. Takasaki, H. Kim, A. Sato, M. Okada y R. Sudo; Japón, 1.992):

- ✓ Disminución de recursos hídricos disponibles

- ✓ Inaptitud para distintos usos: consumo humano, industria, agricultura, pesca, actividades recreativas, animales ,etc...

- ✓ Minimización del poder autodepurador de los cauces receptores

En el siguiente cuadro se presentan las más importantes relaciones causa-efecto, que se producen como consecuencia de ciertos componentes del agua residual:

Cuadro 1.1.- Relaciones causa-efecto de algunos contaminantes del agua

<i>CAUSA CONTAMINANTE</i>	<i>EFEECTO ORIGINADO</i>
<i>Descomposición de materia orgánica</i>	Gases malolientes
<i>Microorganismos patógenos</i>	Enfermedades
<i>Nutrientes</i>	Eutrofización
<i>Compuestos tóxicos</i>	Varios

Los inventarios de la *Organización Mundial de la Salud (OMS)* muestran la importancia del problema, y ponen de manifiesto que el agua es el primer vehículo mundial de enfermedades; fenómeno éste que toma tintes que se pueden calificar de catastróficos, en los países subdesarrollados del Tercer Mundo.

La *depuración* consiste en la eliminación de la contaminación e impurezas que el agua a tratar incorpora, por medio de procesos físicos, químicos y biológicos (*Depuración de aguas residuales*; A. Hernández, 1.994).

La concienciación general sobre la necesidad de la depuración ha sido creciente a lo largo de nuestro siglo. Uno de los hitos fundamentales acontecidos sobre el tema, en el ámbito mundial, es la celebración de la *Cumbre de Río*, ya en la década de los noventa.

En esta Cumbre se preconizó que el 50 % de la población de los países en vías de desarrollo depuraría sus aguas antes del año 2.000. Por supuesto, este objetivo se contempla en 1.998, a todas luces, utópico.

Se llega al punto en que se concluye, por parte de todos los sectores sociales y foros de opinión, la **NECESIDAD DE DEPURAR**. La reacción subsecuente es la puesta en marcha de los mecanismos articulados por los poderes legislativos de los distintos países, los cuales transcriben en leyes esa corriente popular.

Es decir, al principio, la necesidad de depuración es una idea que existe en la conciencia general de la sociedad, pero al final se convierte en una exigencia plasmada en Normativas.

En este momento, cabe el planteamiento entre las distintas alternativas posibles de depuración para lograr efluentes de la mayor calidad posible, teniendo presente el importante factor económico.

De manera sucinta, un sistema de depuración se compone de diversas etapas o procesos. Básicamente, estas etapas se corresponden con un pretratamiento, un tratamiento primario, un tratamiento secundario y, en su caso, un tratamiento terciario.

Los conceptos que definen cada uno de estos procesos se plasman en el *Plan Nacional de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales* (B.O.E. de 12 de Mayo de 1.995).

La esencia de esta Normativa radica en la consecución de efluentes que cumplan los requisitos del cuadro siguiente (no se incluyen zonas sensibles, en las cuales, además, se les obliga a eliminar Nitrógeno y Fósforo):

Cuadro 1.2.- Requisitos para los vertidos procedentes de instalaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas. Se aplicará el valor de concentración o el porcentaje de reducción.

Parámetros	Concentración	Porcentaje mínimo de reducción	Método de medida de referencia
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅ a 20°C) sin nitrificación	25 mg/l O ₂	70-90 40 de conformidad con el apartado 2 del artículo 4	M u e s t r a homogeneizada, sin filtrar ni decantar. Determinación del oxígeno disuelto antes y después de 5 días de incubación a 20°C ± 1°C, en completa oscuridad. Aplicación de un inhibidor de la nitrificación.
Demanda Química de oxígeno (DQO)	125 mg/l O ₂	75	M u e s t r a homogeneizada, sin filtrar ni decantar.
Total de sólidos en suspensión	35 mg/l ⁽³⁾ 35 de conformidad con el apartado 2 del artículo 4 (más de 10.000 e-h), 60 de conformidad con el apartado 2 del artículo 4 (de 2.000 a 10.000 e-h)	90 ⁽³⁾ 90 de conformidad con el apartado 2 del artículo 4 (más de 10.000 e-h)	- Filtración de una muestra representativa a través de una membrana de filtrante de 0,45 micras. Secado a 105°C y pesaje. - Centrifugación de una muestra representativa (durante 5 minutos como mínimo, con una aceleración media de 2.800 a 3.200 g), secado a 105°C y pesaje.

Los análisis de vertidos procedentes de fosos de fermentación se llevarán a cabo sobre muestras filtradas; no obstante, la concentración de sólidos totales en suspensión en las muestras de aguas sin filtrar no deberán superar los 150 mg/l.

- (1) Reducción relacionada con la carga del caudal de entrada.
- (2) Este parámetro puede sustituirse por otro: carbono orgánico total (COT) o demanda total de oxígeno (DTO), si puede establecerse una correlación entre DBO₅ y el parámetro substitutivo.
- (3) Este requisito es optativo.
- (4) Se refiere a los supuestos en regiones consideradas de alta montaña.

Una vez que el agua abandona la Estación Depuradora, según el uso posterior al que se vaya a destinar el agua tratada, los niveles de depuración exigidos serán diferentes, de tal modo que esta Ley (que no hace más que trasladar a la Ley española la Directiva Europea 91/271 CEE), supone los requisitos mínimos exigidos en el momento en que el agua se vierte de la Estación Depuradora al medio o cauce receptor.

Los usos posteriores, en orden creciente de calidad, que pueden distinguirse son:

- ✓ Necesidades agrícolas (riegos)

- ✓ Riego de parques y jardines urbanos

- ✓ Refrigeración industrial

- ✓ Necesidades de servicios urbanos

- ✓ Preservación del medio biótico del medio receptor

- ✓ Recirculación en la industria

✓ Recarga de capas acuíferas

✓ Piscicultura

✓ Redes alternativas contra incendios en polígonos industriales

✓ Uso doméstico, pudiendo llegarse al consumo humano

La *elección de un tipo u otro de tratamiento* y, dentro de cada tratamiento, el tipo de proceso a elegir, es muy complejo y son numerosos los condicionantes que han de evaluarse. Las principales características que deben perseguirse en un sistema de depuración son las siguientes:

✓ Necesidad mínima de superficie

✓ Posibilidad de cubrición

✓ Intervalo amplio de caudal aplicable

✓ Adaptación a variaciones inesperadas de caudal

- ✓ Reducida afectación de los procesos (sobre todo, de tipo químicos y biológicos) por las características del agua a tratar

- ✓ Limitaciones climáticas; principalmente, la temperatura

- ✓ Efluentes de calidad adecuada

- ✓ Reducida producción de fangos

- ✓ Mínimo impacto ambiental: olores, intrusión visual, etc.

- ✓ Fiabilidad y estabilidad de funcionamiento y explotación

- ✓ Facilidad para futuras ampliaciones, es decir, compatibilidad con otros sistemas de depuración, así como carácter modular de las instalaciones.

En definitiva, toda la casuística anterior obliga a buscar **PROCESOS COMPACTOS** que ocupen poca superficie, sean fácilmente ubicables y permitan su cubrición (G. Rhyner, B. Birou, H. Gros; Suiza, 1.992).

El estudio de sistemas que cumpliesen los condicionantes anteriores constituyó la razón fundamental que enfocó 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 biopelícula en los lechos inundados”**.

A finales de la década de los ochenta (Octubre de 1.989), se inicia la primera investigación en España con la firma de un convenio a tres bandas, en el que participa O.T.V., EMPROACSA y FAB; la primera, perteneciente al grupo francés Compañía General de Aguas, como empresa constructora; la segunda como empresa de Gestión y Explotación; y la Fundación Agustín de Bethencourt como centro de investigación vinculado a la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid.

Esta primera planta piloto se montó en Peñarroya en 1.990. En base a la experiencia adquirida en estos estudios, se construyó una Estación Depuradora a escala real en El Puerto de Santa María con este sistema de depuración.

Son varias las Tesis Doctorales sobre Filtros Biológicos Aireados Inundados, dentro de esta Cátedra, que se encuentran en marcha o acabadas.

Aparte de las consideraciones esgrimidas con anterioridad, las investigaciones de la Cátedra pretendieron, desde su inicio, la consecución de sistemas que obviaran las principales desventajas que han presentado los sistemas de fangos activados en la dilatada experiencia de explotación que acumulan.

En efecto, uno de los procesos biológicos más clásicos y extendidos por todo el mundo es el de *fangos activados*. Algunas realizaciones de este tipo están ya documentadas antes de la Primera Guerra Mundial (*Arden y Lockett; 1.914*). Su estudio ha sido ya cultivado durante una larga serie de años y el conocimiento de su cinética y demás casuística es muy vasto en el momento actual.

El procedimiento consiste en provocar el desarrollo de un cultivo bacteriano disperso en forma de flóculos (*fangos activados*) en un depósito agitado y aireado (*balsa de aireación*) y alimentado con el agua a tratar. Posteriormente, estos flóculos son eliminados en un clarificador.

Entre las principales desventajas apuntadas, se tienen (*Gilles Carrand y C. Bonef; Francia, 1.991*):

- ✓ Necesidad de grandes superficies, en particular para el proceso de clarificación.
- ✓ Por lo anterior, dificultad de integración en el medio ambiente, que obliga a alejar las instalaciones de la estructura urbana.
- ✓ Mayores costes de los colectores.
- ✓ Defectuosa decantabilidad de los fangos del biológico por escasa densidad de los mismos (bulking), que provoca con gran frecuencia el retorno de fangos al cauce receptor, junto con el efluente tratado.
- ✓ Reaccionan con dificultad a las variaciones de carga hidráulica.
- ✓ La inercia del sistema es considerable, por simple cuestión de escala.

Los *filtros biológicos aireados inundados* son reactores que contienen un material soporte de relleno, donde las bacterias crecen formando una película en la estructura del material, que se encuentra sumergido. Disponen de aireación forzada, suministrada mediante equipos mecánicos y necesitan lavados periódicos con agua y aire, cuya finalidad es eliminar las partículas que progresivamente van atascando el filtro al ser retenidos al paso del agua, al

tiempo que se controla el desarrollo de la biomasa que constituye la película o biopelícula, al objeto de evitar anaerobiosis en la misma.

Estos filtros suelen acompañarse de otro filtro, por lo general sin aireación, ubicado en posición anterior o posterior respecto al aireado y donde puede provocarse el desarrollo de biopelícula o simplemente utilizarse como filtración sin actividad biológica substancial.

Las principales ventajas reportadas en numerosos documentos bibliográficos acerca de los filtros biológicos inundados son (*R. Pujol, J.P. Canler y A. Iwena; Francia, 1.992 - H. Gros, J. Álvarez; Sulzer, 1.992*):

- ✓ Crecimiento rápido de la biopelícula, que redunda en una gran flexibilidad frente a las cargas contaminantes variables.

 - ✓ Admite cargas contaminantes de entrada muy elevadas, lo que redunda en menores necesidades de espacio para el tratamiento biológico.

 - ✓ Retención mecánica de las materias en suspensión, que implica una posible supresión del clarificador secundario.
-

- ✓ Menor necesidad de superficie (consecuencia de los dos puntos anteriores).

- ✓ Utilizados en procesos de nitrificación, permiten independizarse de la edad del fango, pues no existe peligro de lavados hidráulicos; los lavados de biopelícula están controlados y son voluntarios.

- ✓ Gran estabilidad del proceso.

- ✓ Carácter modular del procedimiento, que permite ajustar fácilmente distintas etapas con distintos objetivos o adaptarse fácilmente a las variaciones estacionales, o de otro tipo, de caudal o carga contaminante.

- ✓ Fácil adaptación a Estaciones Depuradoras existentes, y que necesitan una remodelación por sobrecarga o adecuar sus vertidos a las nuevas normas con imperativos más exigentes, que se vienen promulgando últimamente en todos los países; en particular los europeos, que han transcrito las Directivas Europeas a su propia Normativa (E.H. Harsman, P.J. Roeleved, J.H. Rensink; Holanda, 1.997).

- ✓ Efluentes menos contaminados, lográndose altos rendimientos de eliminación en los distintos parámetros contaminantes (referidos tanto a materia orgánica como a materia nitrogenada).

- ✓ Reducida producción de fangos, al tiempo que desaparecen los efectos de *bulking*.

- ✓ Minimización de ruido y olores, así como impactos visuales, pues su reducido espacio necesario permite su cubrición, o incluso su ubicación subterránea.

- ✓ Gran tolerancia hacia muchos inhibidores.

- ✓ Proporciona buenos resultados, incluso cuando se presentan bajas relaciones DBO_5/DQO en el afluente.

A continuación, se presentan dos esquemas de filtro biológico aireado inundado, correspondiéndose con distintas concepciones del mismo.

Figura 1.1.- Esquema básico de un Filtro biológico Aireado Inundado. Flujo Descendente y aireación inferior

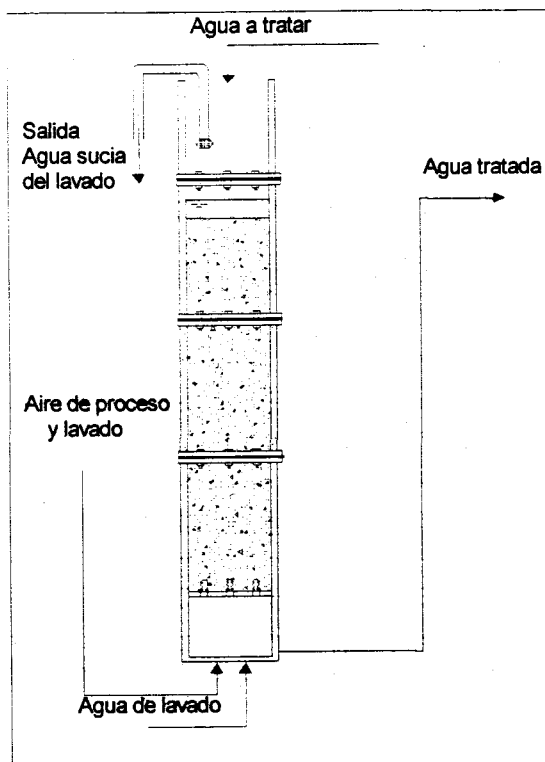
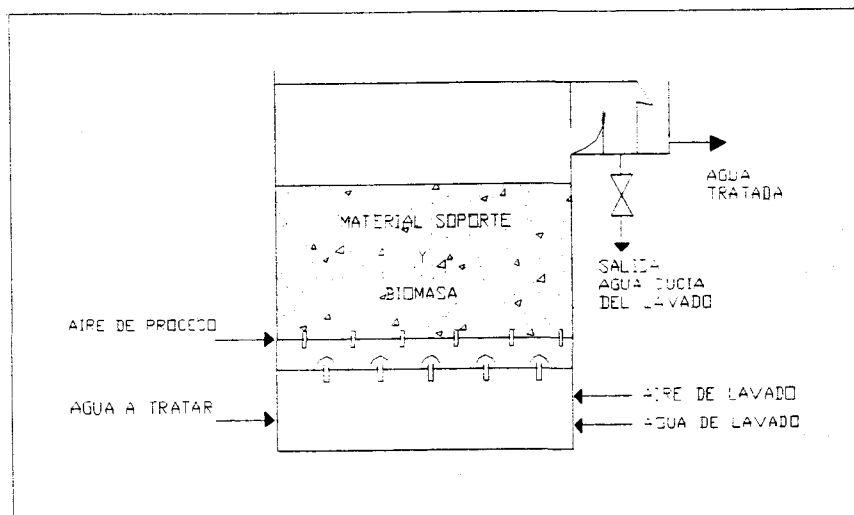


Figura 1.2.- Esquema básico de un Filtro biológico Aireado Inundado. Flujo Ascendente y aireación intermedia



Las conclusiones obtenidas hasta el momento, fruto de las experiencias acumuladas en el curso de las distintas investigaciones de esta Cátedra, aún no han arrojado los resultados suficientemente óptimos para poder afirmar que se han alcanzado plenamente todos los objetivos marcados. Esos objetivos que, no son otros, sino los que propicien el diseño de Estaciones Depuradoras que aúnen las ventajas y condicionantes descritos anteriormente, junto al cumplimiento de la Normativa vigente al respecto.

Esta Tesis Doctoral viene motivada por la pretensión de ser una continuación de las Investigaciones precedentes y una nueva aportación en la búsqueda de una solución a toda la problemática expuesta anteriormente.

Finalmente, se concluye la conveniencia de la realización de esta Tesis Doctoral, bajo el título de: **“OPTIMIZACIÓN DE LECHOS INUNDADOS CON SOPORTE DE RESIDUOS RECICLADOS”**, que intenta sintetizar los diversos aspectos tratados en este trabajo.

2.- OBJETIVOS DE LA TESIS

2.1.- Objetivo principal

En base a los conceptos desarrollados en la Introducción, se llega al enunciado de un objetivo principal perseguido por esta Tesis, y que radica en la **consecución de un sistema de depuración cuya implantación suponga la mínima superficie posible**, unido a efluentes con la calidad o niveles de depuración exigidos. En concreto, se busca la *optimización de lechos inundados con soporte de materiales reciclables*, como sintetiza el título de la presenta investigación.

2.2.- Objetivos secundarios

A partir de los estudios llevados a cabo en el seno de esta Cátedra de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, expuestos sucintamente en el Capítulo anterior,

este trabajo pretende ser una continuación de los mismos, al tiempo que un avance que acerque al objetivo principal enunciado previamente.

Entre estos objetivos secundarios, se pueden destacar los siguientes:

- 1) **Optimización de los rellenos** utilizados y, fundamentalmente, de su *altura* de trabajo, sin olvidar su *comportamiento* ante el paso de aguas residuales.

- 2) **Optimización del régimen de lavados**, enfocando los esfuerzos tanto en el conocimiento de la *periodicidad* adecuada, es decir, la separación temporal entre dos consecutivos, como en la determinación de las distintas *fases* de operación. En cada una de éstas se pretende conocer el *modus operandi* más adecuado en lo que respecta a distribución de fases con aire y/o agua, la duración de cada una de éstas y el diseño de *equipos mecánicos*: la potencia de instalación necesaria y apropiada, la presión de trabajo en el caso de los equipos insufladores de aire, régimen de funcionamiento (por ejemplo, relación caudal-altura de las bombas de agua de lavado), etc.

- 3) **Adecuación de los parámetros de diseño**: este objetivo engloba la búsqueda de las condiciones más favorables de funcionamiento. El

conocimiento del sistema no se limitará a esta situación sino que la predicción de los distintos aspectos acerca de la depuración con el sistema empleado se hará extensible a cualquier otra.

- 4) **Control de las variables** a las que se encuentran sometidos los procesos, de tal modo que sea conocida la relación entre aquéllas y los parámetros y se contemple la reacción ante la posible variabilidad de éstos. El operador del sistema debe ser dueño en cada momento del mismo.
- 5) La consecución y búsqueda del objetivo anterior, proporcionará la experiencia necesaria para optimizar el **diseño de la automatización** de una Estación Depuradora, con sistema de filtros inundados.
- 6) Se trata en esta Investigación de experimentar la **viabilidad de la alternancia de flujos**, la cual y, a priori, debe mejorar los rendimientos y resultados alcanzados, pues así se consigue aprovechar más intensamente la totalidad de la altura del relleno. Una consecuencia inmediata con este tipo de flujo consiste en el ahorro de espacio en las instalaciones.

- 7) **Seguimiento sistemático de algunos nutrientes**, alcanzando el conocimiento exacto del nivel de nitrificación, desnitrificación y eliminación de nitrógeno, si tuviera lugar, en los distintos filtros.

3.1.- METODOLOGÍA EMPLEADA EN LA INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA

La revisión bibliográfica de este trabajo se ha actualizado continuamente al tiempo que se llevaba a cabo la investigación. Las principales Bibliotecas y Servicios de documentación a los que se han acudido son las siguientes:

- ✓ Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

- ✓ Biblioteca de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Granada

- ✓ Fondos del Área de Tecnologías del Medio Ambiente del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Granada

✓ Instituto del Agua (Universidad de Granada)

✓ Biblioteca General de la Universidad de Granada

Las más importantes Bases de Datos a las que se ha tenido acceso a través de las Instituciones y Servicios enumerados anteriormente fueron las siguientes:

✓ AQUALINE - 25 (Water Research Center; Reino Unido)

✓ COMPENDEX - 4 (Engineering Information Inc.; Estados Unidos)

✓ ENVIROLINE - 11 (Environment Information Center; Estados Unidos)

✓ AFEE - 73 (Association Francaise pour L'Etude des Eaux; Francia)

✓ POLLUTION - 18 (Cambridge Scientific Ababstracts; Estados Unidos)

Otras Bases de Datos menos específicas acerca de Medio Ambiente y Aguas, pero también de interés, que se han consultado son: Biblioteca del Congreso (Estados Unidos), Current Contents (CC), Science Citaxion Index (SCI), NTIS, ICONDA, CSIC.

Las principales palabras clave con las que se ha accedido a las Bases de Datos y demás búsquedas han sido:

- ✓ Biofilm Reactor
- ✓ Submerged bed
- ✓ Biological Filter
- ✓ Aerated Submerged Biological Filter
- ✓ Fixed Film Reactor
- ✓ Biofiltration
- ✓ Biocarbon

Aparte de artículos obtenidos a través de Bases de Datos, ha resultado muy productiva la consulta de la Documentación de distintos Congresos y Jornadas, así como de Revistas periódicas, tales como "Water Science & Technology" y "Water Research" (sendas publicaciones a cargo de la prestigiosa asociación internacional IAWQ). Otras revistas de interés aparecidas y consultadas en esta Investigación son: Journal of the Institution of Water and Environment Management o Applied Biochemistry and Biotechnology.

El volumen de referencias, artículos y demás información recopilada, como puede imaginarse, fue ingente. En este Capítulo y a continuación, se ofrece un resumen más o menos exhaustivo de los diferentes aspectos más relevantes

entresacados del proceso de Investigación Bibliográfica.

En el Anejo nº1, se recogen gran cantidad de artículos y resúmenes de los mismos, cuya amplia extensión impide su inclusión íntegra. Por ello, en dicho Anejo, puede encontrarse una selección de los documentos más interesantes a los que se ha tenido acceso.

3.2.- DESCRIPCIÓN DE LOS FILTROS BIOLÓGICOS INUNDADOS

3.2.1.- Conceptos generales

Los procesos biológicos en depuración de aguas residuales consisten en la eliminación de la contaminación que porta el agua mediante organismos vivos (principalmente microorganismos, aunque pueden llegar a intervenir, e incluso convertirse en protagonistas del proceso, organismos superiores). Las reacciones y procesos tienen lugar en un recinto denominado *Reactor Biológico*, en donde el operador de la instalación intenta mantener unas condiciones ambientales adecuadas para el desarrollo de los organismos más idóneos para alcanzar un objetivo determinado.

En unas ocasiones se suministra oxígeno, con lo que el sistema se denomina aerobio; en caso contrario, el sistema es facultativo o anaerobio. La consecuencia del consumo de sustrato (materia carbonada aportada desde el

exterior o contenida en la propia agua) y los nutrientes, es el desarrollo de unos organismos (biomasa).

Existen dos métodos básicos para mantener la *biomasa en el reactor*. Si los organismos vivos se encuentran *en suspensión* en el seno del agua, se necesita, por lo general, una recirculación de una parte de éstos tras su separación del efluente tratado, posterior al crecimiento descrito y a la sedimentación de flóculos de biomasa en un tanque situado adelante del reactor biológico. Otro método para mantener la biomasa es su fijación o *adhesión a un medio material* o soporte, que debe ser resistente a la abrasión, quedando retenida en el reactor, y es el usado en los procesos denominados de cultivo fijo, película fija o biopelícula.

Por tanto, en un filtro biológico (o reactor biopelícula) inundado se conjugan dos *funciones* básicas:

- ✓ Retención de Sólidos en suspensión.

- ✓ Fijación y crecimiento de la biomasa, que se encarga de la eliminación de la contaminación soluble y disuelta.

En los filtros biológicos aireados inundados coexisten tres *estados de la*

materia:

- ✓ Fase sólida: la constituye el material soporte.
- ✓ Fase líquida: en la que se encuentra sumergido el material, y que se renueva constantemente por el paso continuo del agua residual.
- ✓ Fase gaseosa: creada por la introducción de aire en el medio.

Los filtros biológicos inundados van precedidos siempre por un tratamiento primario, el cual reduce la concentración de Sólidos en Suspensión. También cabe la posibilidad de acompañarlos con *filtros no aireados* (en posición, aguas abajo), cuya función es, principalmente, la retención de sólidos, y en los que no se busca una acción biológica importante. Es decir, se trata de un afino del agua ya tratada por un filtro biológico, y no puede, con toda propiedad, afirmarse que el medio es anaerobio, pues aunque no se insufla aire, el desarrollo de organismos es ínfimo. En esta investigación, se ha estudiado un afino de este tipo y trata de confirmar estos extremos y en qué medida estas afirmaciones preconcebidas se corroboran.

En esta Tesis se estudia la disposición del material denominada *Doble Capa*, en la que, dentro de un mismo reactor, se disponen varias clases distintas de material en varias capas. Apenas existen referencias en toda la comunidad investigadora mundial sobre esta alternativa. Más adelante se presentarán los

resultados encontrados al respecto en la búsqueda bibliográfica.

3.2.2.- El lavado

Al tiempo que un filtro se encuentra operativo, éste se va colmatando por efecto, de una parte, de los sólidos retenidos, y de otra, del crecimiento de la biomasa. La consecuencia es la ocupación de los espacios libres, peligrando el estado aerobio del filtro, así como el paso regular del efluente, y la pérdida de carga va aumentando con el tiempo en el reactor. En definitiva, periódicamente es necesario el lavado de los filtros.

El tiempo transcurrido entre dos lavados *-carrera de lavado-*, suele oscilar entre 20 y 48 horas, en función de la contaminación y caudal del agua de entrada, así como de la existencia de aireación en el filtro. El ciclo de lavado suele componerse de las siguientes fases:

- 1.- Esponjamiento, sólo con aire
- 2.- Fase de lavado propiamente dicha, con agua y aire
- 3.- Fase de aclarado, con agua.

Más adelante se tratará con más detalle otros aspectos del lavado, como son la duración del mismo, necesidades de caudal de aire y agua, etc. Tanto el aire como el agua de lavado se introducen, generalmente, por la parte inferior del

lecho. El agua de lavado se toma de una cuba o depósito que almacena una fracción del efluente depurado.

El agua procedente de los lavados contiene gran cantidad de fangos biológicos retenidos por el filtro durante su funcionamiento, por lo que se recircula al tratamiento primario o a una decantación habilitada a tal efecto; de este modo, este agua se reincorpora a la línea de agua.

3.2.3.- Tipos de flujo de los fluidos

En los filtros biológicos inundados aireados se puede hacer circular el agua en sentido ascendente o descendente. Estas dos opciones dan lugar a sendas tipologías de flujo, presentadas a continuación:

3.2.3.1.- Flujo contra-corriente:

La corriente del agua residual es descendente y la del aire de proceso es ascendente. Este sistema presenta las siguientes ventajas:

- ✓ Se mejora la transferencia de oxígeno debido a que el aire fluye en sentido opuesto al agua. Entre otros efectos, ocurre que atraviesa primero la zona con menor densidad de biopelícula. De este modo, se aprovecha mejor toda la longitud del reactor. En efecto, si el agua atraviesa primero la zona más poblada de biopelícula, puede producirse

un consumo extraordinario de oxígeno en esta zona y provocar un déficit en la zona inferior, que lo está menos. Indirectamente, pues, resulta un ahorro de energía, al reducirse las necesidades de producción de aire.

- ✓ El agua tratada se recoge en la parte inferior. De este modo, las boquillas situadas en esta zona, corren menor peligro de atoramiento.

- ✓ El grueso de fangos retenidos se encuentra en la zona superior del reactor. Al ejecutarse los lavados, el fango se localiza muy próximo a los conductos o vertederos cuyo fin es evacuarlos.

Un ejemplo significativo de este tipo de flujo es el Biocarbón de O.T.V.

3.2.3.2.- Flujo co-corriente:

Tanto el agua residual como el aire se introducen en sentido ascendente. Una de las patentes más señaladas que incorporan este sistema es *Biostyr de O.T.V. o Biofor de Degremont*. En este caso, se justifica esta disposición debido a que el material soporte está compuesto de unas esferas de poliestireno de densidad inferior al agua y los lavados se facilitan introduciendo el agua en sentido descendente, oponiéndose a la fuerza ascensional del material. Debido a este extremo, resulta beneficiosa la acumulación de fangos a lavar en la banda inferior del reactor para facilitar su retirada llevándola a cabo, igualmente, por la

parte inferior.

Algunas de las experiencias consultadas, reflejan que:

- ✓ En el caso de flujo de agua ascendente, las boquillas situadas en la parte inferior soportan el paso de un agua tremendamente contaminada, con lo que el riesgo de atascamiento es mayor.

- ✓ Si el flujo es ascendente, la mayoría de fangos ha de atravesar el material soporte en casi toda su extensión antes de ser retirados, durante un lavado.

3.3.- HISTORIA DE LOS FILTROS BIOLÓGICOS INUNDADOS

Los procesos biológicos convencionales de tratamiento de aguas residuales, como los clásicos *fangos activados*, son ampliamente utilizados con buenos resultados en su funcionamiento, pero la serie de desventajas enumeradas en la Memoria de este trabajo y, particularmente, sus elevados requerimientos de espacio, han impulsado las investigaciones en otros sistemas y, entre ellos, principalmente, los filtros biológicos inundados.

En los setenta, aparecen las primeras referencias bibliográficas en las que

algunos autores hacen públicas sus investigaciones, orientadas a desarrollar *procesos de tratamiento más compactos tan eficientes como los fangos activados* (Bebin et al., 1.975; Blanc, 1.975; Grasmick et al., 1.979; Leglise, 1.980).

El resultado de este trabajo, aún incipiente, fue la proposición de un nuevo proceso, nacido desde la tecnología de filtros de agua potable, y que se dio en llamar *Filtros Biológicos Inundados*.

Hamoda y Abd-El-Bary (1.987) llevaron a cabo un detallado análisis de la cinética del sistema, usando un modelo matemático. Choi y Burkhead (1.982) estudiaron las características hidráulicas para patentes de reactores biopelícula aireados, cuyo soporte era un material prefabricado, para mejorar los sistemas de fangos activados existentes, y predijeron los problemas que podían esperarse durante la operación.

Así pues, los primeros pasos en filtros de película fija a un soporte tuvieron lugar al intentar mejorar el funcionamiento de fangos activados mediante la introducción de un medio plástico en las balsas de aireación usadas en este sistema, combinándose procesos de crecimiento de película fija y suspendida.

Sin embargo, la escasa área activa disponible del material soporte, se tradujo en bajos niveles de depuración e indujo a desarrollar los filtros biológicos

inundados, con soportes granulares con un diámetro de partícula comprendido entre 1 y 6 mm de diámetro.

La *década de los noventa* asiste a un gran auge en el estudio más profundo y generalizado de los distintos sistemas biopelícula, sin que ello haya sido óbice para que también continuase la investigación sobre la combinación de biomasa suspendida y fija (*Lessel, 1.991*), o un conjunto de lechos bacterianos colocados en serie (*Parker et al., 1.990*).

A pesar de que este tipo de procesos biopelícula ya se aplican en bastantes lugares del mundo, la investigación en el tema es aún muy necesaria, pues el dimensionamiento de filtros biológicos inundados está basado prácticamente siempre en conceptos empíricos y pruebas a escala piloto.

El interés suscitado por este tipo de filtros permanece en la actualidad, y encontramos referencias recientes que así lo atestiguan, como las experiencias registradas en Francia por la Compañía General de Aguas y Lionesa de Aguas (cabe destacar la Estación Depuradora de Mónaco; 1.990) o las de Canadá a raíz de las nuevas exigencias establecidas en su normativa en 1.993 (*Kantardjieff, Jones, 1.997*); También pueden mencionarse los estudios de *E.H. Marsman et al.* (*Holanda, 1.997*), en los que se busca una eliminación de nitrógeno con procesos de película fija, posterior a una eliminación de materia carbonada y fósforo en

una etapa previa, constituyendo ésta un proceso de fango activado de alta carga.

La mayoría de plantas con biofiltros inundados se localizan en áreas urbanas densamente pobladas o enclaves turísticos (montañosos o costeros). Las primeras *implantaciones industriales* tuvieron lugar en los comienzos de los ochenta (*Partos et. Al., 1.985; Sibony, 1.983; Hirose, 1.982*). Hacia 1.992, operaban en el mundo alrededor de cincuenta plantas en países de todo el mundo, como Canadá, Estados Unidos, Japón y varios de Europa (fundamentalmente, Francia).

En España, las realizaciones de este tipo son mínimas. La investigación en este campo, en nuestro país, se inició en la *Cátedra de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la E.T.S.I. de Caminos, Canales y Puertos de Granada* en el año 1.989 y este trabajo supone un eslabón más en la optimización de los filtros biológicos inundados.

Actualmente, en España hay tres Estaciones Depuradoras con este sistema: Puerto de Santa María, Ibiza y Santa Cruz de Tenerife; pero, sin duda, será en el siglo XXI el auge del sistema en nuestro país.

3.4.- LOS FILTROS BIOLÓGICOS INUNDADOS EN EL PANORAMA DE LOS PROCESOS BIOLÓGICOS AVANZADOS

Entre las *primeras realizaciones e investigaciones* en el campo de los procesos biopelícula, se encuentran los RBC (Contactores Biológicos Rotativos), los cuales engloban, principalmente, a Biodiscos y Biocilindros. Ambos procesos tienen lugar con inundación intermitente.

También existe una larga experiencia en el funcionamiento de lechos bacterianos, anterior a cualquier otro proceso de este tipo, en los que el medio no está saturado, sino que el agua percola a través del soporte. Ya se ha mencionado en el apartado introductorio de este capítulo, la alternativa de uso que ofrece un filtro de arena. En esta línea, con un proceso filtrante como fundamento del funcionamiento, se encuadran igualmente los tratamientos por aplicación al terreno.

A continuación, se presenta el estado actual del panorama de *procesos biológicos aerobios avanzados*, es decir, algunos de ellos aún se encuentran en un estadio experimental y prácticamente todos ellos son procesos de alto rendimiento, aptos, en esencia, para tratamientos en núcleos de población significativa o en aquellas situaciones en las que sean necesarios efluentes de muy buena calidad.

Los avances principales alcanzados, se centran en el control de la mezcla o separación de fases en los reactores, según la conveniencia dentro del proceso, y en la mayor efectividad posible en la transferencia de oxígeno.

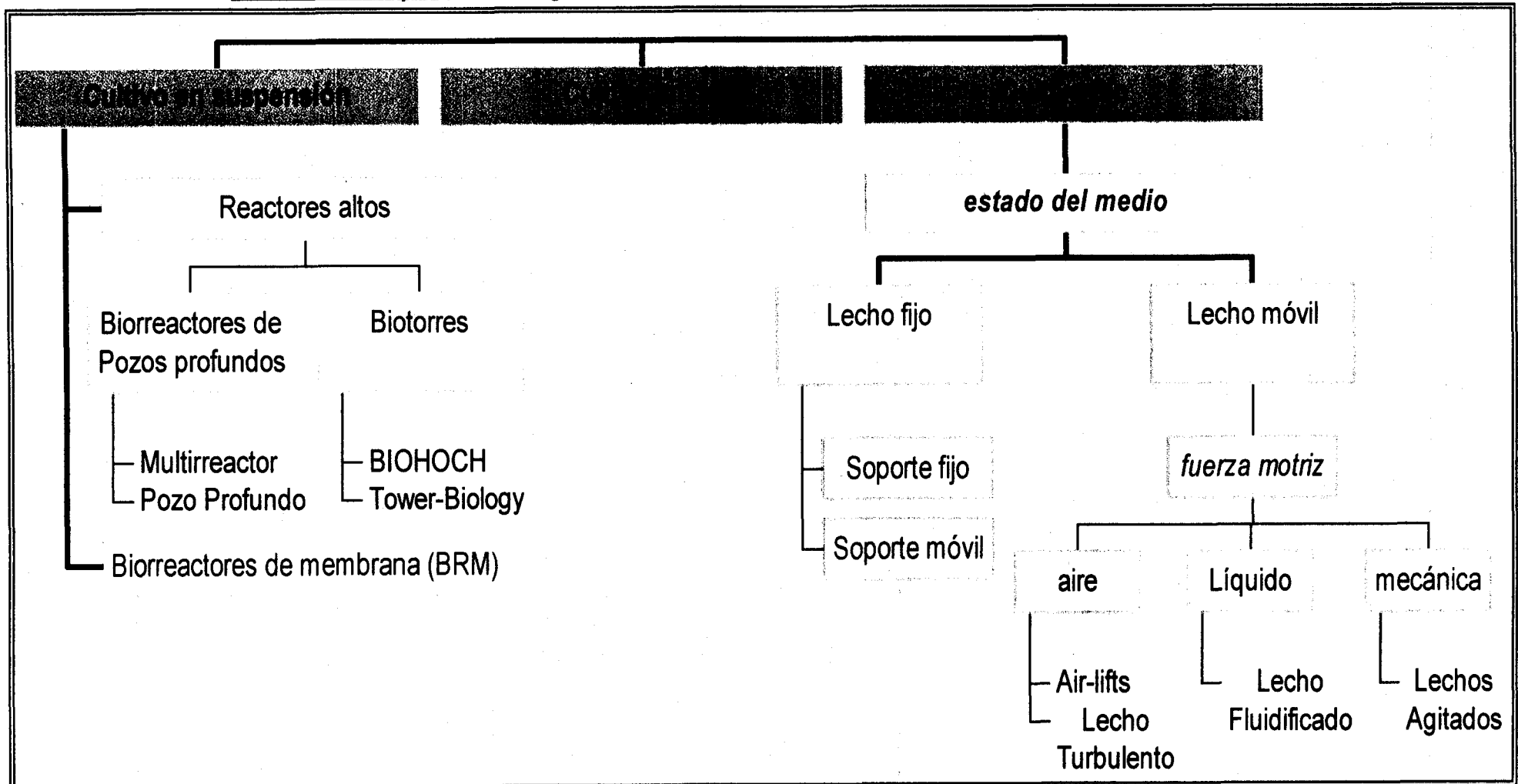
3.4.1.- Procesos de cultivo en suspensión

Este grupo de procesos biológicos se corresponde con los tradicionales de fangos activados. Sin embargo, las desventajas apuntadas en su larga trayectoria de operación, han exigido una actualización de estos procesos, llegándose a solventar en gran medida estos problemas usando reactores más compactos diseñados según dos *principios básicos*:

✓ Incremento de la altura de los reactores.

✓ Asegurar la retención de la biomasa con una membrana.

Cuadro 3.1.- Clasificación de procesos biológicos avanzados en función del estado de la biomasa (V. Lazarova y J. Manem: 1.994)



Estos dos principios generan, respectivamente, sendos tipos de reactores biológicos, a saber:

- 1) Reactores altos
- 2) Biorreactores de membrana (BRM)

Ambos mejoran muchos aspectos negativos de los sistemas de fangos activados, pero conllevan el inconveniente de su alto coste.

3.4.2.- Procesos de cultivo mezclado o mixto

Cultivo mixto es un término reciente que todavía no se corresponde con un uso exclusivo, y no ocupa un lugar bien reconocido en la clasificación internacional de bioprocesos. Sin embargo, cubre un grupo distinto de procesos que usan cultivos suspendidos y fijos dentro del mismo reactor.

En definitiva, consisten en cualquier proceso descrito en el subapartado anterior o cualquier proceso de cultivo fijo con lecho móvil; los sistemas de ambos grupos pueden actuar como procesos de cultivo mixto, en presencia de algún medio material favorable para el desarrollo de la biopelícula, siempre y cuando este subproceso no afecte a la esencia del funcionamiento hidrodinámico del proceso general y principal.

3.4.3.- Procesos de cultivo fijo

Según el estado del medio material soporte, puede aceptarse la siguiente división, dentro de estos procesos:

- 1) Lechos fijos, con el medio material sumergido (lechos inundados)

- 2) Lechos móviles, en los que el medio se mantiene constantemente en movimiento mediante la aplicación de una fuerza motriz, que puede ser transmitida a través de un líquido, aire o una turbulencia de origen mecánico.

3.4.3.1.- Reactores biopelícula de lecho fijo:

Los de **lecho fijo**, propiamente dichos, son aquellos en los que el medio material soporte es pesado (materiales de relleno porosos con densidad superior al agua y diámetro de partícula entre 2 y 6 mm). Este tipo de lechos es el utilizado en esta investigación, por lo que se remite a la Memoria del documento, donde se describieron ampliamente sus ventajas de operación.

Los costes de primera instalación son mayores que los de planta convencionales, excluyendo como es lógico los costes de terreno. El consumo de energía es equiparable al de los fangos activados.

Los reactores de **lecho flotante** son inundados, con un medio granular de baja densidad (de 0,03 a 0,9 gr/cm³).

3.4.3.2.- Biorreactores de lecho móvil:

Las características de operación consecuencia de mantener el medio material en continuo movimiento son:

- ✓ Mejora la transferencia de masa.
- ✓ Reduce las limitaciones de difusión de la biopelícula.
- ✓ Acelera las reacciones bioquímicas por incremento del área de transferencia biopelícula/líquido.
- ✓ Usa materiales granulares muy finos (0,2-2 mm) o muy porosos (plásticos) para incrementar la superficie específica disponible para el crecimiento bacteriano.

Las ventajas que se derivan de lo anterior son:

- ✓ Alta eficiencia en eliminación de carbono con bajos tiempos de retención.

✓ No existen problemas de colmatación.

✓ Mejor transferencia de oxígeno.

✓ Reducida producción de fangos.

Un aspecto importante de los lechos móviles es que el medio soporte se eleva por la acción de una fuerza motriz, con lo que el agua se separa del medio mediante una criba, que arrastra los fangos biológicos producidos.

Es decir, no quedan retenidos, con lo cual el lavado se produce continuamente y, en consecuencia, la filtración también. La pérdida de carga resulta, pues, constante. No es necesaria una parada para efectuar lavados y el agua que se genera en éstos, con altos niveles de contaminación, no tiene que descargarse de un modo puntual, con los consiguientes problemas para la explotación y dimensionamiento del conjunto de la Estación Depuradora.

La principal desventaja de los lechos móviles es su sofisticada construcción. Además, el comportamiento del medio granular es crítico frente a los procesos hidrodinámicos.

Los biorreactores de *lecho fluidificado* se caracterizan por una expansión homogénea del medio, mantenida por la velocidad del líquido. También se les denomina lechos de dos fases y están especialmente indicados en los siguientes casos:

- ✓ Tratamiento aeróbico o anóxico de agua industrial con bajos niveles de contaminantes orgánicos.

- ✓ Tratamiento terciario, buscando una intensa nitrificación.

- ✓ Metanización de efluentes de industrias alimentarias.

De nuevo, encontramos un serio inconveniente en las limitaciones constructivas a la hora de llevar a cabo su desarrollo y aplicación a escala industrial. Además, los costes de construcción son superiores a los tratamientos convencionales, y los costes de funcionamiento son realmente mucho más elevados.

Los *lechos fluidificados de tres fases* inyectan simultáneamente gas y líquido, con lo que intentan solventar los problemas causados por la inyección exclusiva de aire (éste es el caso anterior); principalmente, el elevado coste de explotación. Existen lechos de este tipo con densidad del medio superior e inferior

a 1 y con fuerza motriz para la fluidificación gaseosa o líquida.

Los resultados sobre este tipo de lecho son aún limitados, y presentan todavía grandes problemas en el control de la expansión y la distribución homogénea del flujo. El consumo de energía es similar al generado en los fangos activados, e inferior al de los lechos de dos fases.

La principal desventaja de estos procesos es la gran dificultad técnica para, simultáneamente, producir fluidificación e inyección con aire (con los problemas asociados de burbujas de aire, turbulencia del lecho, etc.).

Los **lechos turbulentos** son reactores de tipo columnar con el lecho agitado por la alta velocidad a la que se insufla el aire. La densidad del material ha de ser similar a la del agua (muy baja) para así compensar la gran cantidad de energía necesaria para crear y mantener una alta turbulencia del lecho.

La alta presión mantiene la biopelícula muy fina y activa. Estos reactores actúan, en consecuencia, como reactores de cultivo mixto, en donde el 25-35 % de la biomasa total se encuentra suspendida. Todas las propiedades hidrodinámicas y de transferencia mejoran con este sistema.

Los **lechos agitados** (Stirred beds) son reactores de lecho móvil en los

que el medio se mantiene en movimiento por agitación mecánica y/o moderada aireación.

El material más comúnmente usado es el de cubos de poliuretano. Dispone de una gran superficie para el crecimiento bacteriano por su gran porosidad, pero sólo el 20-40 % del área teórica es realmente usada, debido a la colmatación de los poros. El principal problema con estos procesos es mantener los cubos porosos en movimiento y prevenir su flotación.

3.5.- POSICIÓN Y PAPEL DE LA BIOFILTRACIÓN EN LA LÍNEA DE TRATAMIENTO DEL AGUA

Dondequiera que esté implicada una etapa de filtración, cualquier sistema situado aguas arriba que retenga sólidos en suspensión, redundará en un decrecimiento en la frecuencia de lavado del filtro (minimizando, de paso, el consumo de energía y agua). Partiendo de esta premisa, que no conviene olvidar, la posición óptima para los biofiltros es aguas abajo de un pretratamiento eficiente o de un tratamiento de precipitación físico-química, el cual elimine un porcentaje importante de sólidos en suspensión.

Con lo anterior como base, la decisión de localizar la filtración en una zona u otra de la línea de agua de una Estación Depuradora, dependerá de dos

factores principales:

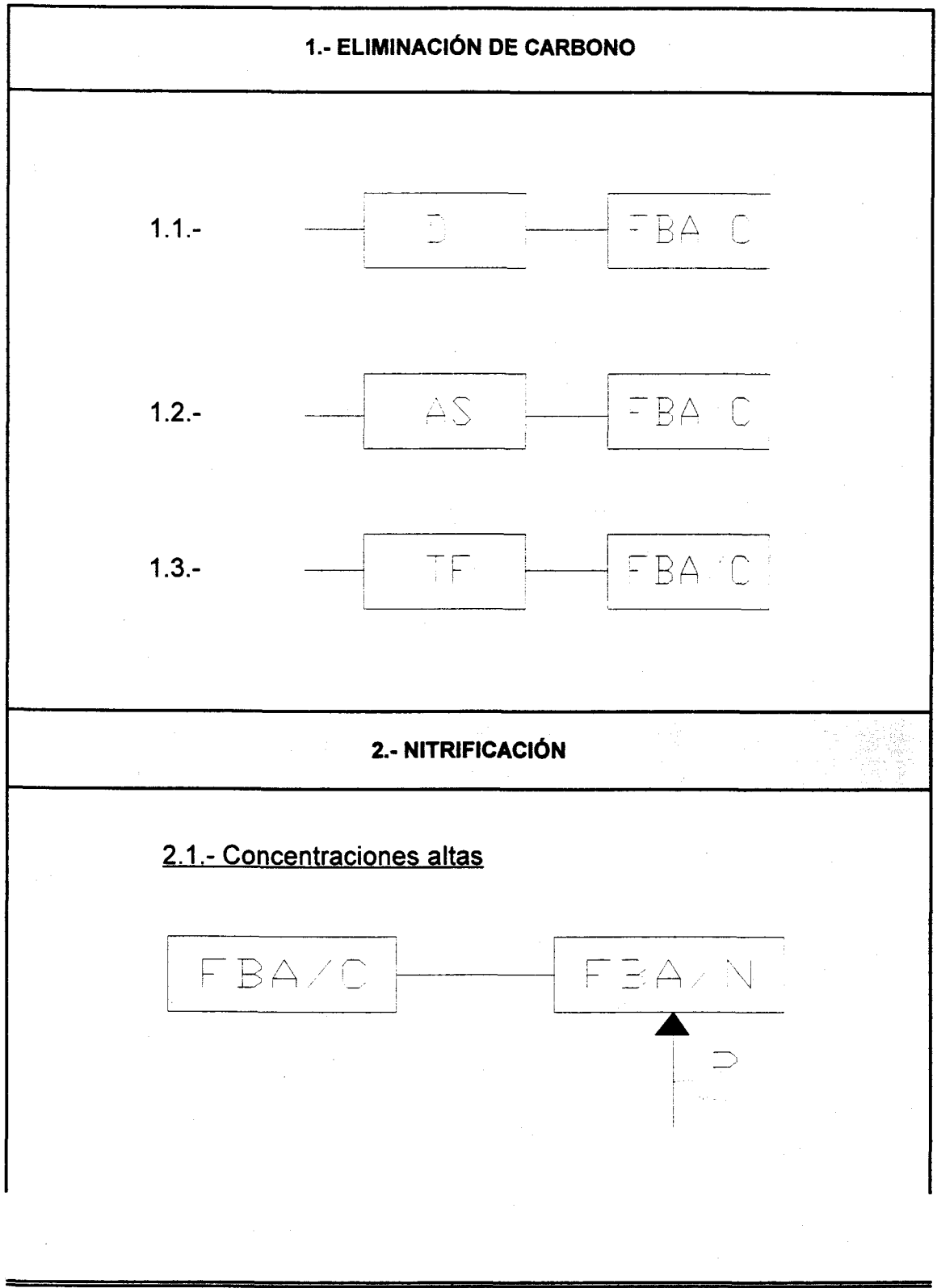
- a) El tipo de agua a tratar.
- b) Componentes cuya eliminación se plantea como objetivo.

En cuanto al primer aspecto, las fuentes de agua residual que con mayor frecuencia se ha tratado con biofiltros (medida ésta en base a la cantidad de bibliografía publicada al respecto) son las siguientes (según recopilación de *Iwai y Kitao, 1.994*):

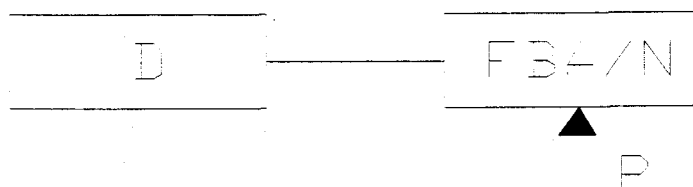
- ✓ Agua bruta
- ✓ Efluente primario de agua residual urbana
- ✓ Efluente secundario de agua residual urbana
- ✓ Industria química
- ✓ Efluente de fangos activados, que trataban agua residual de industria cervecera
- ✓ Efluente de la flotación, tratando agua residual de industria papelera
- ✓ Agua de río

La siguiente figura ilustra las diversas configuraciones posibles acorde a los objetivos del tratamiento (*R. Pujol et al., 1.994*):

Fig. 3.1.- Posibles aplicaciones de la biofiltración (R. Pujol et al: 1.994)

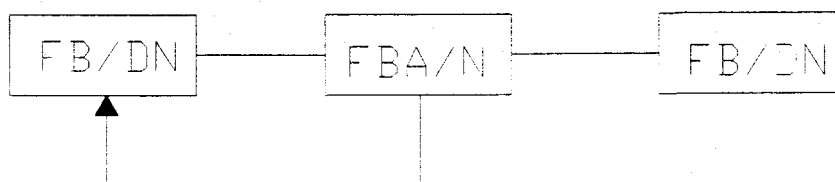


2.2.- Concentraciones bajas



3.- DESNITRIFICACIÓN

3.1.- Concentraciones altas



3.2.- Concentraciones bajas



Las claves de este gráfico son:

AS = Fangos activados

TF = Lecho bacteriano

D = Decantador

P = Eliminación de fósforo

FBA/C = Filtro Biológico Aireado para eliminación de Carbono

FBA/N = Filtro Biológico Aireado para eliminación de Nitrógeno

FB/DN = Filtro Biológico Inundado con ausencia de aireación y suministro de carbono mediante fuente externa o recirculando al reactor agua contaminada desde otro lugar de la línea de agua

Según *M. Boller et al. (1.994)*, la eliminación de materia orgánica y la nitrificación puede lograrse en:

- ✓ un reactor biopelícula en un tratamiento con una única etapa,
- ✓ dos reactores biopelícula que se suceden, con separación de sólidos únicamente después del segundo reactor
- ✓ un tratamiento de dos etapas, con separación de sólidos intermedia y nitrificación terciaria separada.

El último esquema de estos tres, resulta muy adecuado para plantas que ya existen y disponen de un sistema de fangos activados. De este modo, el hipotético primer reactor, sería suplantado en su función por las balsas de aireación preexistentes. Si se requiere unos niveles de sólidos en suspensión de salida convencionales, no son necesarias más instalaciones para separación de sólidos. Sin embargo, para alcanzar efluentes de mayor calidad, el agua recogida

a la salida del reactor correspondiente a la nitrificación terciaria puede ser sometida a una nueva filtración.

E.H. Marsman et. Al. (Holanda, 1.997) presentan el resultado de un estudio, en el cual probaron un tratamiento compuesto de tres fases:

1ª) Eliminación de materia orgánica y fósforo mediante un fango activado.

2ª) Reactor biopelícula nitrificante

3ª) Reactor biopelícula desnitrificante.

Según la citada fuente, se economiza en un 40 % las necesidades de superficie respecto a la consecución de idénticos objetivos por medio de fangos activados, exclusivamente.

En definitiva, como puede deducirse de este apartado, la casuística referente a los objetivos a alcanzar en la depuradora junto a la posición que ocupe un biofiltro dentro de la línea de agua, es muy compleja y ofrece una gran variedad de posibilidades de operación.

3.6.- RESULTADOS y EXPERIENCIAS RECOPIADAS EN DISTINTAS REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

En el Anejo II, pueden encontrarse gran parte de los documentos recopilados en la fase de Investigación Bibliográfica. En la Introducción de dicho Anejo se explica el procedimiento seguido para su localización, así como la fuente de cada referencia.

A continuación, se abordan una serie de aspectos sobre la depuración de aguas residuales, mediante filtros biológicos aireados, que pretenden sintetizar todo el proceso; se aportan los valores de parámetros y variables utilizados y obtenidos en las distintas investigaciones encontradas en el Barrido Bibliográfico. En primer lugar, se analizan, en distintos epígrafes, diversas patentes y estudios experimentales referidos a la biofiltración. Se ofrece un cuadro-resumen de los distintos tipos existentes de procesos, reactores y patentes, más prestigiosas en la comunidad investigadora internacional.

Para mayor comprensión de las páginas venideras, se remite, si es necesario, al apartado siguiente de este capítulo, donde se describe, con más detalle, las principales patentes y los estudios experimentales más señalados.

3.6.1.- Cargas de trabajo

Como cargas de trabajo, se quiere significar todos aquellos parámetros y variables que permiten caracterizar el influente tratado por el filtro biológico, tanto cuantitativamente como cualitativamente. Se incluyen, por tanto, entre ellas, a las siguientes:

- ✓ $C_{h,}$ Carga hidráulica (m/h).
- ✓ $C_{vol., DBO,}$ Carga volumétrica de DBO_5 (Kg. DBO_5 / m^3 / día).
- ✓ $C_{vol., DQO,}$ Carga volumétrica de DQO (Kg. DQO / m^3 / día).
- ✓ $C_{vol., SS,}$ Carga volumétrica de SS (Kg. SS / m^3 / día).
- ✓ $C_{vol., NH_4+,}$ Carga volumétrica de NH_4+ (Kg. NH_4+ / m^3 / día).

En la bibliografía existente, el orden de magnitud de estos valores es muy diverso y, especialmente, dependiendo del objetivo del filtro biológico, inmerso en la línea de agua, de la Planta Piloto o Estación Depuradora objeto del estudio.

Cuadro 3.2.- *Procesos biopelícula de lecho fijo, a escala industrial (V. Lazarova y J. Manem; 1.994)*

Proceso y tipo de reactor							Aplicación	C _{vol.} (Kg./m ³ /d)
Tipo	Proceso	Patentador	País	Aireación	Flujo	Medio Soporte		
Lecho Fijo con medio denso	BIOFOR	Degremont	Francia	aire/O ₂	FA	Biolite, 2-5 mm	AU, AI, TT	5-10(DQO);0,5-1,5(N _{amm})
	NITRAZUR			aire/O ₂	FA		TT, NF-AP	1-1,3 (N-NH ₄ ⁺)
	FLOPAC			aire	FD	Biolite, 2-5 mm	AU, AI, TT	5-15 (DQO)
	OXYAZUR			O ₂		(esquisto. expand.)	AU, AI, TT	5-18 (DQO)
	BIOCARBONE	OTV	Francia	aire/O ₂	FD	Biodamine, 2-5 mm	AU, AI, TT	5-10 (DQO)
	Lavado continuo	SOGEA	Francia	no	FA	Arena	DNF	3-5 (N-NO ₃ ⁻)
Lavado continuo		USA	no	FA	Arena	DNF	2,7 (N-NO ₃ ⁻)	
Lecho Fijo Flotante	FILTRAZUR	Degremont	Francia	no	FA	PS expand., 1-2 mm	Filtración	2,8 Kg. SS/m ²
	BIOSTYR	OTV	Francia	aire	FA	PS expand., 1-2 mm	AU,TT, DNF-NF	0,5-1,5 (N-NH ₄ ⁺)
	DENIPOR	Preussag AG	Alemania	no	FA/FD	PS expand., 2-3 mm	DNF	1,5-5,3 (N-NO ₃ ⁻)
	Biofiltro		Antigua URSS	no	FD	PS expandido	AU, AI, TT	
	INSAT-lab	SAUR, IDE	Francia	no	FD	PE, 3-6 mm	AU, AI, TT	5-14,5 (DQO)

AU=Agua Urbana; AI=Agua Industrial; AP=Agua Potable; TT=Tratamiento Terciario; NF=Nitrificación; DNF=Desnitrificación; PS=Poliestiresno.

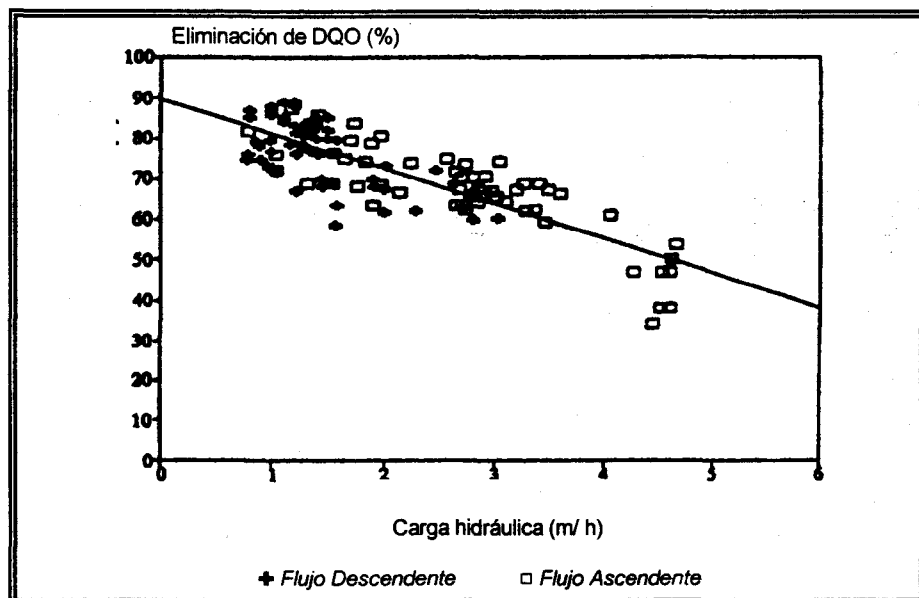
Cuadro 3.3.- Procesos biopelícula de lecho móvil, a escala industrial (V. Lazarova y J. Manem: 1.994)

Proceso y tipo de reactor					Aplicación	C _{vol.} (Kg/m ³ /d)
Tipo	Proceso	Patentador	País	Medio Soporte		
Lecho Fluidificado aeróbico de 2 fases	OXITRON	Ecolotrol/ Dorr - Oliver	USA, GB	Arena, Carbón Activo	AU, AI, NF	0,6-1,3 (N-NH ₄ ⁺)
	REX	Envirex / Ecolotrol	USA	Arena, 0,4-0,6 mm	NF	0,6-0,72(DBO); 1(N _{amm}) 1 (N-NH ₄ ⁺)
Lecho Fluidificado de 3 fases		Univ. Montpellier INSA - Toulouse	Japón	Antracita, 0,8 mm	NF	24 (DQO) 6,4-15,5 (DQO)
			Francia Francia	Arcilla, plásticos 2-7 mm	AU, AI, NF AU, AI, NF	
Lecho Fluidificado inverso			Francia	PE, 2-5 mm	AU, NF, DNF AU, DNF	12-35 (DQO)
			USA Bulgaria	Plástico Poliestireno expandido		
Air - Lifts			Holanda	Basalto, 0,2 mm	NF	1,5-5 (N-NH ₄ ⁺)
			Alemania	Arena, 0,2 mm	NF	4,2 (N-NH ₄ ⁺)
Lecho turbulento			Noruega	Plástico	AI	0,5-0,9 (DQO)
			Francia	Cristales de Poliestireno	AU, TT	0,2-1 (N-NH ₄ ⁺)
Lecho agitado	LINPOR	Linde AG	Alemania	Cubos de poliuretano	AU, AI	2-4 (DBO); 0,36 (N-NH ₄ ⁺)
	CAPTOR	Simon - Hart, Ltd.	Alemania	Cubos de PET	AU, AI	1,4-4 (DBO)
			Noruega	Patente, 2-4 mm	AI	15-20 (DQO)

AU=Agua Urbana; AI=Agua Industrial; AP=Agua Potable; TT=Tratamiento Terciario; NF=Nitrificación; DNF=Desnitrificación; PET=Poliéster.

De muy realistas pueden calificarse las cifras que presentan *J.P. Canler* y *J.M. Perret* (CEMAGREF, Francia, 1.994), experimentando en el rango de Carga hidráulica de 0,8 a 4,6 m/h, y mostrando el descenso de rendimientos que tiene lugar al aumentar la carga hidráulica de entrada.

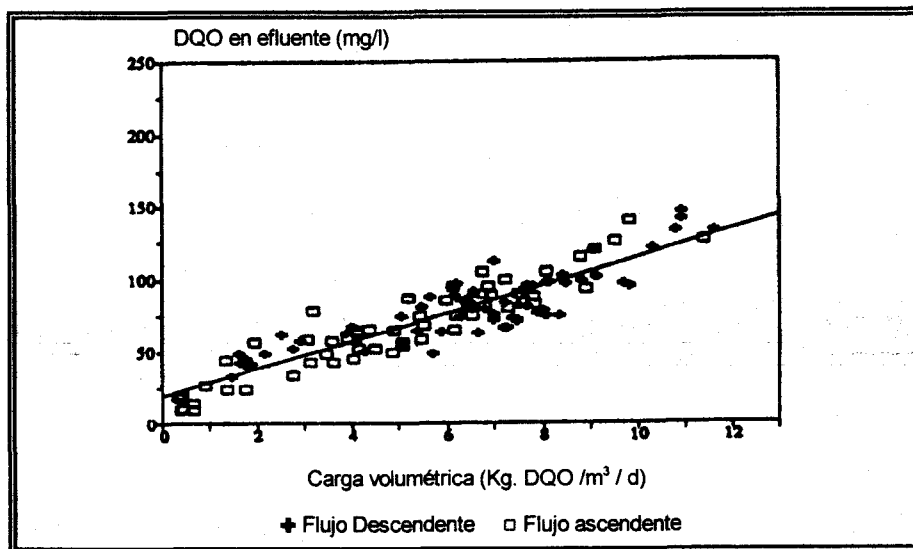
Fig. 3.2.- Porcentaje de eliminación de DQO en filtro biológico aireado, en función de la carga hidráulica (J.P. Canler y J.M. Perret: 1.994)



En cuanto a la contaminación de entrada del agua, se aplicaron cargas pertenecientes al intervalo 3,5-11,9 Kg. DQO / m³ / día, pero los resultados mostraron que la limitación al proceso se producía aproximadamente para 7 Kg. DQO / m³ / día. El objetivo que los operadores se marcaron fue la de lograr un

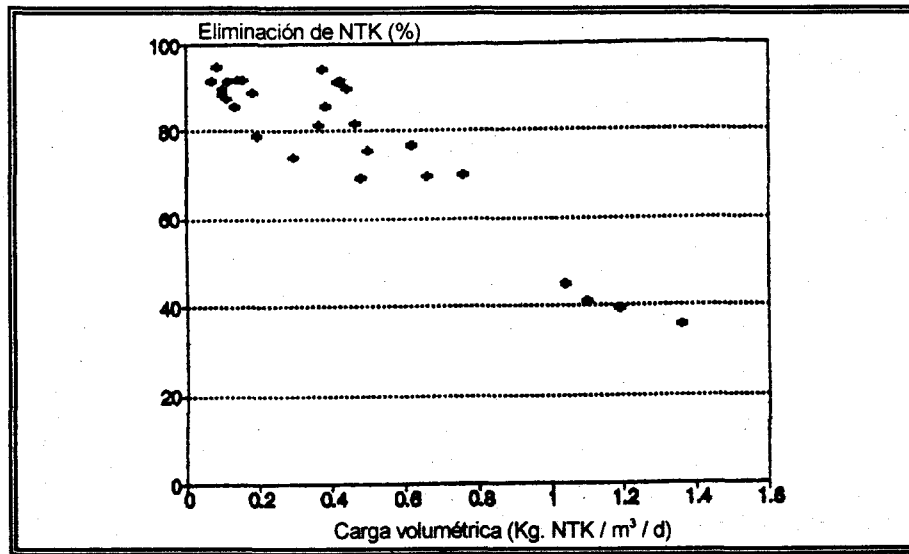
efluente con 90 mg.DQO/l. Si el objetivo se establecía en 125 mg/l, la carga podía aumentarse hasta los 11-12 Kg. DQO / m³ / día.

Fig. 3.3.- Cambios en la concentración de DQO del efluente en filtro biológico aireado, en función de la carga en DQO volumétrica aplicada (J.P. Canler y J.M. Perret: 1.994)



En cuanto a los Sólidos en Suspensión, una carga de 3,2 Kg. SS / m³ / día, proporcionaba efluentes con un máximo de 30 mgSS/l. En lo que respecta a la nitrificación, en plantas con un ratio C/N = 10, para cargas de entrada de 0,36 Kg. NH₄⁺ / m³ / día, se lograban sistemáticamente rendimientos superiores al 80 % de Nitrógeno Kjeldahl.

Fig. 3.4.- Porcentaje de eliminación de NTK en filtro biológico aireado, en función de la carga en NTK volumétrica aplicada (J.P. Canler y J.M. Perret; 1.994)



A.Pujol et. Al. (CEMAGREF, Francia, 1.992), llegaron a conclusiones muy similares a las anteriores. En este caso, se establecen 6 Kg. DQO / m³ / día como limitación al proceso de eliminación de materia orgánica, y concluyen que cargas hidráulicas comprendidas entre 1-4 m/h no influencia en exceso los niveles de depuración en el efluente. Según esta fuente, la nitrificación se muestra posible para cargas inferiores de 5 Kg. DQO / m³ / día, lo cual se correspondió con cargas de 0,6 a 0,7 Kg. NK / m³ / día.

Las investigaciones llevadas a cabo por la empresa *Degremont* (del Grupo

Lionesa de Aguas), en 1.994, experimentando su patente *BIOFOR*, de flujo ascendente, puso de manifiesto que el rango de cargas hidráulicas aplicables se podía ampliar hasta 6 m/h y las limitaciones del proceso de eliminación de materia carbonada no sobrevenía hasta sobrepasar una carga de aplicación de 10 Kg. DQO / m³ / día. En el caso de pretenderse la nitrificación, en condiciones normales de operación, se alcanzaba una eliminación del orden del 80 al 90 % del nitrógeno amoniacal para cargas de aplicación de 1,4 Kg. NH₄⁺ / m³ / día.

La carga hidráulica admitía un valor de 10 m/h, si el objetivo del proceso era la nitrificación, aunque fuese en detrimento de rendimientos más eficientes en la eliminación de materia carbonada.

Los estudios de la multinacional francesa O.T.V. (del grupo Compañía General de Aguas) concluyeron en el patentado, entre otros, de dos modelos de filtro biológico para depuración de aguas residuales: *BIOSTYR* y *BIOCARBONE*.

Como tratamiento secundario, la incompetencia del sistema se iniciaba para una carga aplicada de 7-8 Kg. DQO / m³ / día, mientras que como tratamiento terciario para nitrificar, 0,5-0,6 Kg. NH₄⁺ / m³ / día era el rango para el que las curvas de rendimientos iniciaban un pronunciado declive.

El *BIOSTYR*, un sistema de lecho flotante y flujo ascendente, permitía

tratar cargas más próximas a $2 \text{ Kg. NH}_4^+ / \text{m}^3 / \text{día}$, pero no son significativos los datos referentes a eliminación de materia carbonada en esta patente, pues está especialmente diseñada para tratamientos terciarios y, por consiguiente, todos los esfuerzos de la empresa que le dio luz se han dirigido en ese sentido, y las cargas aplicadas de DQO y DBO_5 son ínfimas.

A continuación se presentan unas conclusiones presentadas por tres de las Instituciones de investigación más importantes del mundo:

✓ la EPA, de los Estados Unidos,

✓ la británica WRC y

✓ la JSWA, de Japón.

Las anteriores Instituciones afirman que la carga de entrada en $\text{Kg. DBO}_5 / \text{m}^3 / \text{día}$, para lograr un efluente conteniendo menos de $20 \text{ mg. DBO}_5 / \text{l}$, es de 3, 4 y 4,1, respectivamente.

La compañía *Sulzer* patentó otro biofiltro para depuración de aguas residuales. La realización más llamativa, que usa dos etapas de biofiltros, la constituye la Estación Depuradora de Ginebra. La carga hidráulica de trabajo fue

de 5,2 m/h para un primer biofiltro, cuya finalidad se cifró en la eliminación de materia carbonada y 3,4 m/h para un segundo filtro nitrificante.

3.6.2.- Rendimientos y niveles de depuración de salida

Este tratamiento pormenorizado de los distintos aspectos de los biofiltros, considerados aisladamente, resulta muy ilustrativo para adquirir una visión del panorama investigador sobre el tema.

Sin embargo, se ha de convenir que también implica una cierta simplificación del problema, pues la interrelación entre todos los asuntos expuestos es innegable, tanto más cuanto que las circunstancias, metodología y objetivos de los estudios no son siempre los mismos en todos ellos.

Es por esto que, sobre resultados, rendimientos y valores de salida de los distintos parámetros, ya se apuntó algo en el subapartado anterior. En el presente, se pretende sistematizar y ampliar lo esbozado con anterioridad.

En los estudios de *J.P. Canler y J.M. Perret (CEMAGREF, Francia, 1.994)*, se planificó el control sobre una serie de plantas. Los objetivos a cubrir según los datos de proyecto eran los siguientes:

Cuadro 3.4.- Rendimientos a obtener, según datos de proyectos de filtros biológicos aireados (J.P. Canler y J.M. Perret: 1.994)

<u>Rendimiento medio (%)</u>	<u>Flujo descendente</u>	<u>Flujo ascendente</u>
DQO	788	69.8
DBO ₅	886	79.6
SS totales	846	62
NTK	68	80

Se preveía un rendimiento de SS menor en el flujo ascendente, pues, dado el mayor riesgo de colmatación de las boquillas de entrada al reactor de este tipo de flujo, se contemplaba la previa adición de reactivos químicos al influente antes del biofiltro, con el fin de aumentar la eficiencia en la eliminación de sólidos.

En el siguiente cuadro, se recogen los resultados reales obtenidos:

Cuadro 3.5.- Resultados obtenidos en filtros biológicos aireados, usados como tratamiento secundario (J.P. Canler y J.M. Perret: 1.994)

<u>Parámetros</u>	<u>Influente</u> <u>(mg/l)</u>	<u>Efluente</u> <u>(mg/l)</u>	<u>Rendimiento medio</u> <u>(%)</u>
DQO	255	72	67
DBO ₅	111	24	72
DQO/DBO ₅	2.3	3.0	-
SS Totales	71	17	71
NTK	55	41	27
NTK en tratamiento terciario	21	4	80

En cuanto a los resultados obtenidos por *Degremont*, en su planta a escala piloto de Ginebra (con la patente BIOFOR), éstos se presentan en el siguiente

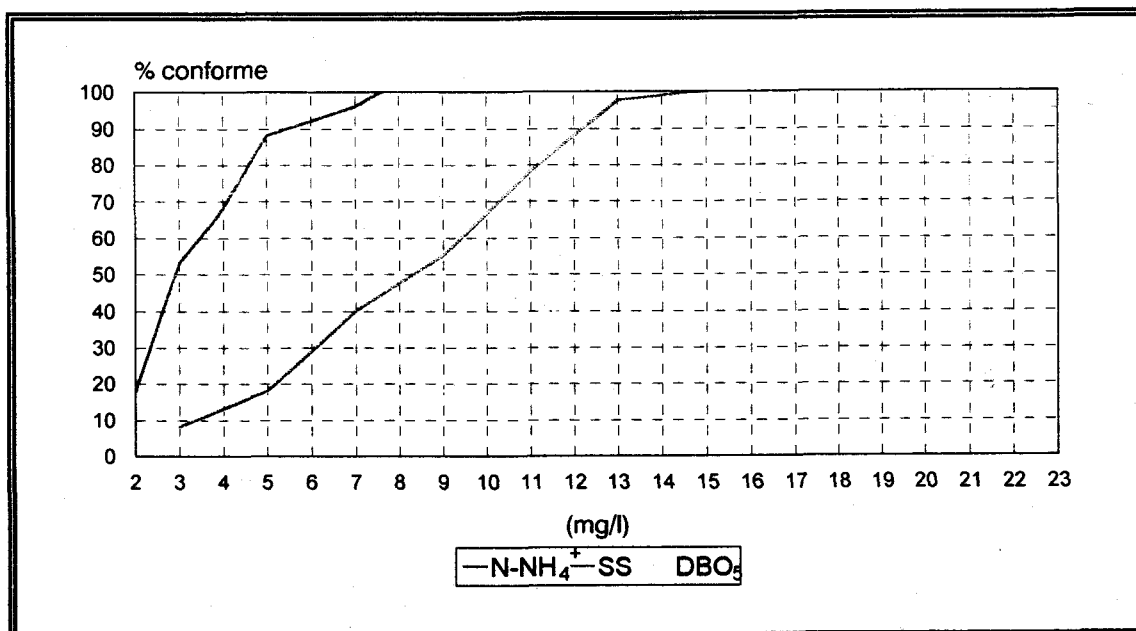
cuadro (todas las cifras son valores medios):

Cuadro 3.6.- Resultados obtenidos en filtros biológicos aireados, usados en dos etapas, como tratamiento secundario aireado y terciario sin aireación (G. Carrand y C. Bonaf; Degremont, 1.992)

<u>Parámetros</u>	<u>Influyente</u> <u>(mg/l)</u>	<u>Efluente 1°</u> <u>(mg/l)</u>	<u>Efluente 2°</u> <u>(mg/l)</u>	<u>Rendimiento</u> <u>global (%)</u>
DBO ₅	124	25	14	89
DQO	293	59	34	86
SS Totales	103	16	11	90
N-NH ₄ ⁺	13.9	11.2	2.5	82

O.T.V. (F. Rogalla et al., 1.991) también desarrolló un estudio en planta piloto, con la patente *BIOCARBONE*, obteniendo los resultados siguientes:

Fig. 3.5.- Frecuencia acumulada de efluentes residuales con Biocarbón como tratamiento secundario (F. Rogalla y J. Sibony, 1.992)

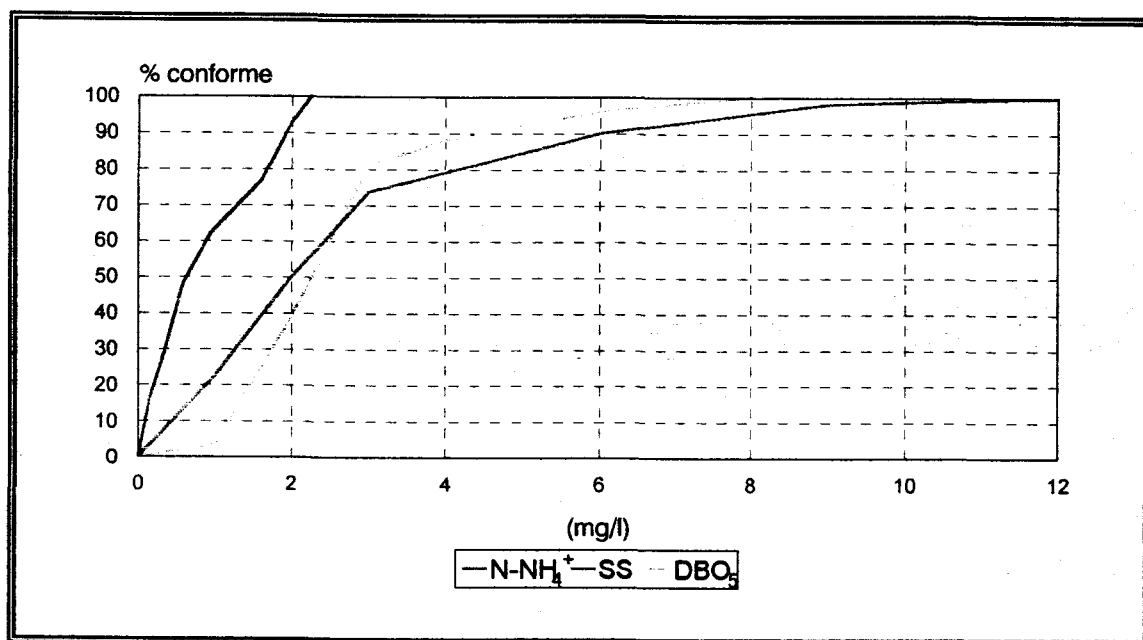


Para el caso del *Biocarbón*, utilizado para un tratamiento secundario, la alimentación de agua bruta a los biofiltros tuvo lugar desde la decantación primaria, con una concentración media en DQO de 300 mg/l. Las concentraciones de Nitrógeno Total en el influente fue, como promedio, de 25 mg. N/l.

Los sólidos en el efluente, alcanzaron un valor medio inferior a 10 mg/l. El promedio, como muestran los gráficos, de amonio en el efluente, rondó los 2,5 mg/l, en tanto que las cargas de DQO estuvieron por encima de 5 Kg. / m³ / día. Las cargas de entrada de nitrógeno se aproximaron a 0.5 Kg. NTK / m³ / día.

Resultados muy similares se obtuvieron por *Thames Water*, ya que calidades de efluente con menos de 10 mg/l en DBO_5 y SS y menos de 5 mg/l para el N-NH_4^+ se alcanzaron para una carga de $0,4 \text{ Kg. N-NH}_4^+ / \text{m}^3 / \text{día}$.

Fig. 3.6.- Frecuencia acumulada de efluentes residuales con Biocarbón como tratamiento terciario (F. Rogalla y J. Sibony, 1.992)



En el caso de utilizar un Filtro *Biocarbón* como tratamiento terciario nitrificante, los resultados son los presentados en la tabla anterior. Para esta etapa, la carga de trabajo fue de $0,6 \text{ Kg. N-NH}_4^+ / \text{m}^3 / \text{día}$.

Como ya se indicó en la sección en la que se trataban las cargas de

trabajo, O.T.V. dispone de una patente expresamente diseñada para su implantación como tratamiento terciario. Los resultados obtenidos en la Estación Depuradora de Saint-Jean-D'illac (a escala real) son los del cuadro siguiente:

Cuadro 3.7.- Resultados obtenidos con Biostyr - tratamiento terciario (F. Rogalla y J. Sibony, 1.991)

<u>Parámetros</u>	<u>Influyente</u> <u>(mg/l)</u>	<u>Efluente</u> <u>(mg/l)</u>	<u>Rendimiento medio</u> <u>(%)</u>
DQO	732	65	91.1
DBO ₅	301	11	96.3
SS Totales	504	3	99.4
NH ₄ ⁺	53.9	7	98.7
NTK	67.6	487	92.8

El diagrama de flujos y disposición de biofiltros en la fase experimental de esta investigación, conducente a la elaboración de la presente Tesis Doctoral, no pretende, pese a su estudio, provocar el proceso de desnitrificación; a modo de orientación, G. Ryhiner, K. Sorensen, B. Birou y H. Gros (Sulzer, 1.994), obtuvieron 2/3 de eliminación de nitratos en el primer reactor, nitrificante, donde, según la misma fuente, se elimina casi toda la DBO₅, antes de hacer circular el agua por sendos biofiltros, nitrificante y, de nuevo, desnitrificante, respectivamente.

3.6.3.- Necesidades de aireación

Este aspecto cobra vital importancia cuando se habla en términos de costes y economía. Todo lo anterior es relativo si no se considera el factor aireación y, en muchos estudios se obvia referirse a él, con lo que la validez de éstos quedan, como mínimo, en tela de juicio.

No existe consenso generalizado sobre las unidades de medida del aire introducido, por lo que se complica la comparación entre diferentes estudios. En el siguiente cuadro, se presenta una recopilación de algunas referencias encontradas:

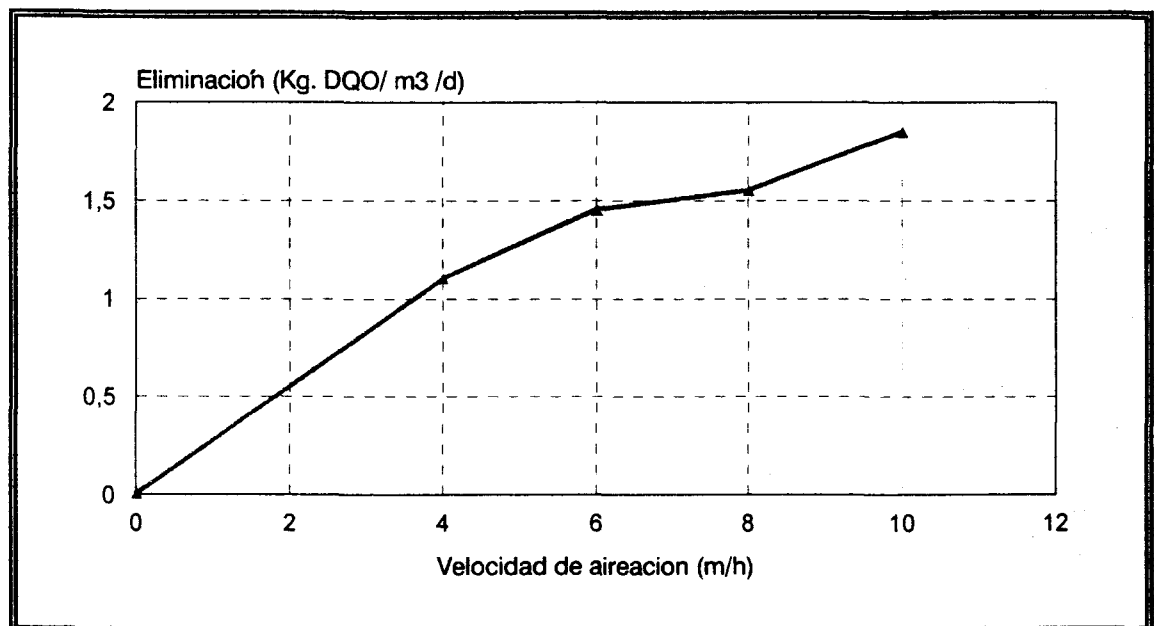
Cuadro 3.8.- Necesidades de aireación de proceso, según distintas fuentes

<u>Fuente</u>	<u>Aire de proceso</u>
EPA	0,5 Kg.O ₂ /Kg. DBO _{5,elim.}
J.P. Canler y J.M. Perret (Flujo descendente con dos etapas)	11.6 Kg.O ₂ /Kg. DQO _{elim.} (Proyecto) 11Kg.O ₂ /Kg. DQO _{elim.} (Real)
J.P. Canler y J.M. Perret (Flujo ascendente con una etapa)	5.7 Kg.O ₂ /Kg. DQO _{elim.} (Proyecto) 5.7 Kg.O ₂ /Kg. DQO _{elim.} (Real)
BIOCARBONE (como trat. 3º)	0.7-1.5 KWh/ Kg. DBO _{5,elim.} 20 m/h
BIOSTYR (trat. 3º)	20 m/h
BIOPUR (como trat. 3º)	15 m/h
G. Valentis y J. Lesavre	1.2 Nm ³ /h

Un parámetro coincidente en casi todos los estudios, lo encontramos en las necesidades calculadas de instalación, y corresponde a un valor dentro del intervalo de 1-1,4 KWh / Kg. DQO eliminada, en lo que respecta, exclusivamente, a la aireación de proceso. En los trabajos de estudio de la patente *Biocarbone*, se comprobó en las medidas efectuadas, que la transferencia de oxígeno alcanzó un rendimiento aproximadamente del 7-15 %.

Finalmente, se acompaña un gráfico de *G. Ryhiner et al. (Sulzer, 1.992)*, en el que se aprecia la influencia de la aireación en la eliminación de DQO en una serie de dos biofiltros en serie, donde sólo se airea el segundo, con intención de provocar nitrificación en este filtro:

Fig. 3.7.- Eliminación de DQO, en función de la velocidad de aireación (G. Ryher et al., 1.992)



3.6.4.- Necesidades del lavado

Idéntico proceso de recopilación al del aire de proceso se ha llevado a cabo con las necesidades del lavado, presentándose el resultado en el siguiente cuadro:

Cuadro 3.9.- Necesidades de aire y agua de lavado, según distintas fuentes

<i>Fuente</i>	<i>Aire de lavado</i>	<i>Agua de lavado</i>
J.P. Canler y J.M. Perret (Flujo descendente)	50	50
J.P. Canler y J.M. Perret (Flujo ascendente)	70	20
BIOFOR		9 m ³ / m ² / lavado

La frecuencia de lavado coincide en, prácticamente, toda la bibliografía y se cifra en un lavado cada 24 horas. En función de la carga de trabajo puede llegar a ser necesario un lavado cada 12 horas o pueden llegar a espaciarse dos

consecutivos hasta 48 horas.

En cuanto al volumen de agua de lavado, las necesidades se cifran normalmente en torno al volumen equivalente de 3 filtros por lavado. Es claro que las necesidades de volumen de agua de lavado varían según el objetivo encomendado al biofiltro.

Así, podemos encontrar referencias contradictorias, pero si se analizan, se comprueba que no lo son. Para lavar un filtro *Biocarbón*, utilizado como tratamiento terciario, *F. Rogalla y J. Sibony (O.T.V., 1.992)*, concluyeron que las necesidades eran del 5 % del agua tratada.

Thames Water aboga por un 7 %, aproximadamente, del volumen diario total a tratar y J.P. Canler y J.M. Perret hablan de un 20 % del caudal diario de agua bruta (es claro que, en este caso, se refiere a un tratamiento secundario).

Además, tras un lavado, y según esta última fuente, el caudal horario puede verse incrementado en un 50 % al cabo de una o dos horas. Por otra parte, la velocidad o carga hidráulica consecuencia del lavado de un filtro aumenta en un 33 % si el número de filtros total es de 4, o un 50 % si éste es de 3.

3.6.5.- Material de relleno

Los materiales de relleno, que sirven como soporte a la biomasa, suelen ser de naturaleza granular o material plástico poroso, si se trata de lechos flotantes. Se busca una elevada porosidad y superficie específica, lo que favorece la adhesión de mayor volumen de biopelícula y se intenta optimizar el tamaño de las partículas en el intervalo de 1-7 mm.

El *BIOCARBONE* utiliza un material pizarroso granular, con un tamaño medio de 2.5-3.5 mm, $1.450 \text{ m}^2 / \text{m}^3$ de Superficie Específica y una porosidad de 0.40. El *BIOSTYR* usa poliestireno granular, con un tamaño medio de 3.0-3.5 mm, $1.050 \text{ m}^2 / \text{m}^3$ de Superficie Específica y una porosidad de 0.39. El relleno de la patente *BIOPUR* consiste en unas láminas plásticas corrugadas, $240 \text{ m}^2 / \text{m}^3$ de Superficie Específica y una porosidad de 0.89.

La patente *BIOFOR* rellena sus filtros con un medio que recibe el nombre de *Biolite* y está compuesto de un material arcilloso, con una densidad superior a la unidad, y una talla efectiva de 3 a 6 mm para un tratamiento secundario, o en torno a 1,2 mm si se pretende aplicar en un tratamiento terciario (en este caso se trata de una arena u otro material silicatado).

Ya no sólo en el campo del tratamiento de aguas residuales, sino haciéndolo extensible a otros campos de uso de los biofiltros, se han intentado

optimizar distintos tipos de relleno, como son: carbón activo, polietileno poroso, arena silícea, arcilla expandida, puzolana, lava, plásticos porosos granulares o con distintas formas, etc. Las propiedades de estos distintos tipos de material difieren entre sí, y son las que han determinado su aplicación final.

La naturaleza y la porosidad del material son características esenciales del material, pero también influyen la carga eléctrica o la hidrofilia. No se debe olvidar tampoco el factor económico que supone el coste del material.

Otras patentes basan su relleno en prefabricados (generalmente de origen plástico), cuya estructura se repite. Es el caso de los materiales denominados Linpor, Bionet y Ring-Lace, que vieron la luz ante la comunidad investigadora internacional por los trabajos de *T. H. Lessel (Alemania, 1.994)*.

Por último, se mencionan los trabajos de *G. Valentis y J. Lesavre (Francia, 1.992)*, que describen con detalle los criterios para elegir el material del relleno, y realizan experimentaciones en planta piloto con geotextil como medio soporte.

3.6.6.- Efecto de la temperatura

Son muy pocas las referencias que estudian la influencia de la temperatura en el proceso biológico de la filtración. Hacerlo supondría llevar a cabo observaciones en muy distintas épocas del año y alargaría la duración de los

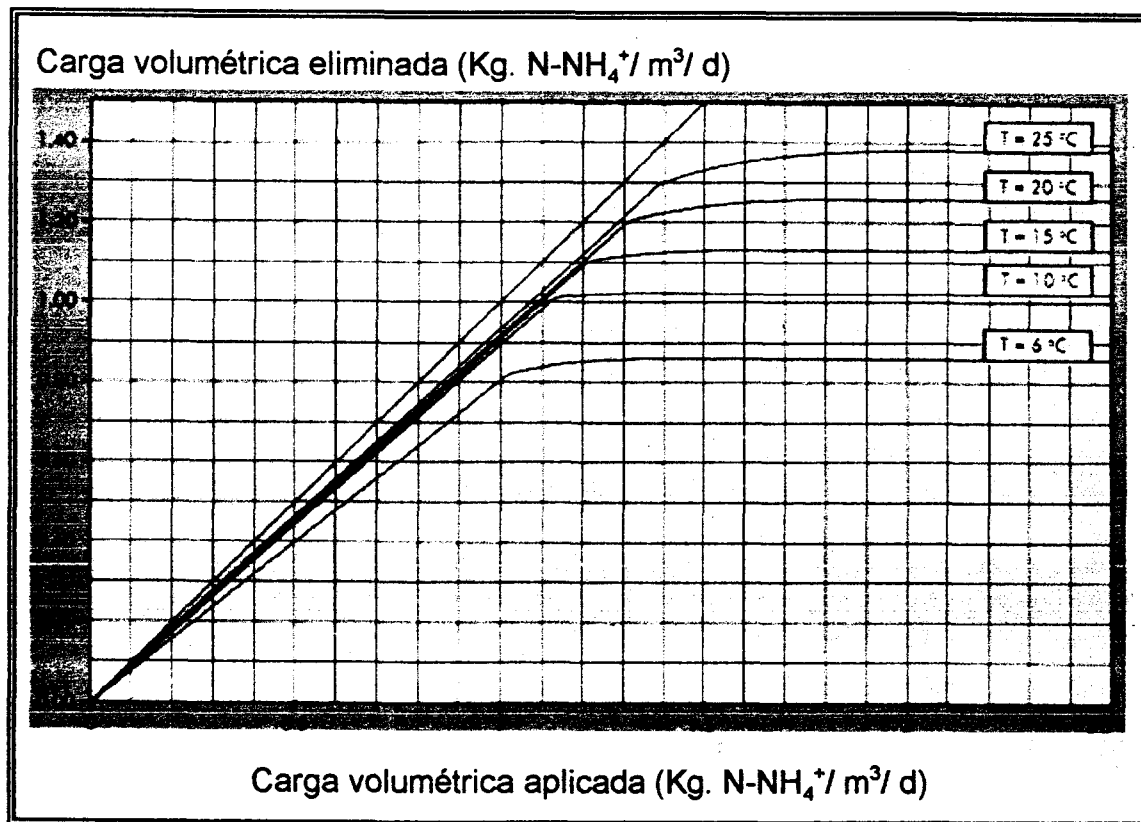
experimentos en base a otros parámetros y variables más críticos en el funcionamiento de un biofiltro.

Los autores coinciden en la escasa influencia de la temperatura en la eliminación de materia carbonada. La nitrificación sí parece verse afectada por este parámetro, inhibiéndose un tanto el proceso para temperaturas inferiores a 6°C.

En cuanto al rango opuesto de temperaturas, es decir, las altas que se registran en la época veraniega, *R. Pujol et. al. (CEMAGREF, Francia, 1.994)*, se percataron de una influencia indirecta sobre las condiciones de aireación: observaron frecuentemente aguas de lavado con tonos negruzcos, los cuales indicaban ocurrencia de áreas anaeróbicas en el lecho del filtro. La observación microscópica de muestras de agua procedente del lavado les permitió una rápida diagnosis y solución del fenómeno (incrementando la aireación,...).

A continuación, se muestra un gráfico que ilustra la influencia de la temperatura en los procesos de nitrificación:

Fig. 3.8.- Efectos de la temperatura en la nitrificación, usando un filtro BIOSTYR
(Datos aportados por la empresa patentadora: 1.992)



3.6.7.- Producción de fangos

Los procesos biopelícula producen una cantidad de fangos mucho más reducida que los procesos biológicos convencionales. Además, se trata de fangos con una sedimentabilidad mayor. Seguidamente se acompaña un cuadro que refleja la información encontrada al respecto:

Cuadro 3.10.- Producción de fangos en biofiltros, según distintas fuentes

Fuente	Producción de fangos	Observaciones
J.P. Canler y J.M. Perret	0.41 Kg.SS/Kg. DQO _{elimi.}	<ul style="list-style-type: none"> ✓ C_{vol.} = 6.2 Kg.DQO/m³/día, ✓ Rendimiento (DQO) = 67 % ✓ 0.4-1.2 gr.SS/l en agua de lavado
BIOCARBONE	0.5-0.8 Kg.SS/Kg. DQO _{elimi.}	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 0.5-1 gr.SS/l en agua de lavado ✓ Tratamiento secundario
BIOFOR	7.5 % del agua tratada	✓ Proceso de dos etapas de biofiltración
Thames Water	0.9-1.4 Kg.SS/Kg. DBO _{5,elimi.}	✓ Tratamiento secundario
R. Pujol et al.	0.4 Kg.SS/Kg. DQO _{elimi.} 0.8 - 1 Kg.SD/Kg. DBO _{5,elimi.}	

3.7.- PRESENTACIÓN DE ALGUNAS PATENTES Y PLANTAS PILOTO EXPERIMENTALES

En este apartado se presentan algunas de las patentes y diseños de plantas experimentales más importantes y que aparecen más asiduamente en la bibliografía analizada. En el apartado precedente, se realiza un barrido por todos los aspectos más relevantes de estos estudios y otros más, pero las continuas alusiones y referencias a algunos de ellos, obligan a describirlos para mayor facilidad en el seguimiento y comprensión de los datos comentados en los epígrafes inmediatamente anteriores al presente.

3.7.1.- BIOFOR (Degremónt; Lionesa de Aguas)

3.7.1.1.- Características básicas del proceso

- ✓ Suministro alternativo de aireación para eliminación de materia carbonada y/o nitrificación, o de substrato (metanol) para desnitrificación.

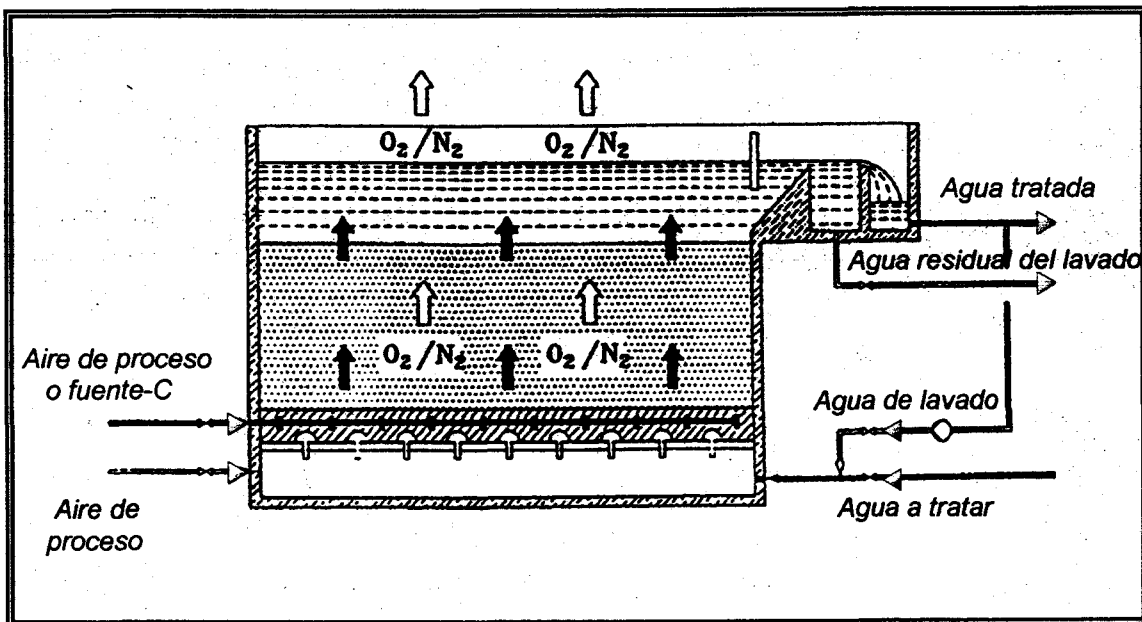
- ✓ Adición de floculantes y coagulantes para eliminación de fósforo.

- ✓ Medio arcilloso, de arena u otro silicato (según objetivo), de densidad mayor a 1 y tamaño de partícula entre 3-6 mm, para tratamiento secundario.

✓ Altura del filtro: 3 metros, aunque para aplicaciones específicas puede ajustarse una altura de 2-4 metros. El tiempo de retención varía entre 0,25 a 1 hora.

3.7.1.2.- Diagrama de flujos

Fig. 3.9.- Diagrama de flujos en un proceso BIOFOR



3.7.2.- BIOCARBONE, BIOSTYR Y BIOPUR (O.T.V.; Compañía General de Aguas)

3.7.2.1.- Características básicas de los procesos experimentales

Cuadro 3.11.- Características básicas de las distintas patentes presentadas

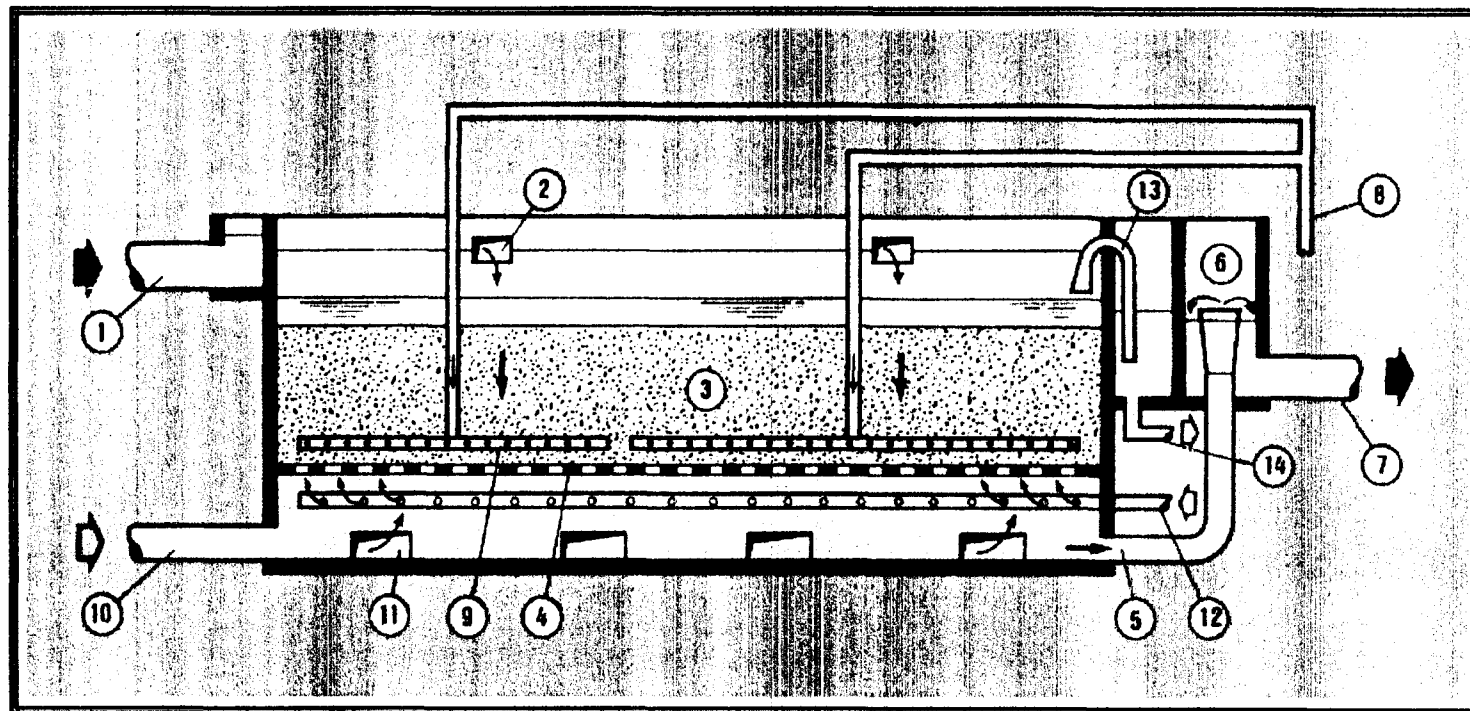
<i>Característica</i>	<i>BIOCARBONE</i>	<i>BIOSTYR</i>	<i>BIOPUR</i>
<i>Tipo de Reactor</i>	Flujo contra-corriente	Flujo co-corriente	Flujo contra-corriente
<i>Medio soporte</i>	Esquistos granulares expandidos	Poliestireno granular	Láminas plásticas corrugadas
<i>Tamaño medio de partícula (mm)</i>	2.5 - 3.5	3.0 - 3.5	-
<i>Superficie específica del material (m²/m³)</i>	1450	1050	240
<i>Porosidad del material</i>	0.40	0.39	0.89
<i>Altura de lecho (m)</i>	1.625	2.19	3.81

Altura aireada del lecho (m)	1.625	2.19	3.81
Volumen de filtro (m ³)	0.131	0.146	0.257
Sección del filtro (m ²)	0.0665	0.0665	0.0674

3.7.2.2.- Diagrama de flujo del proceso BIOCARBONE

Se remite a la página siguiente.

Fig. 3.10.- *Diagrama de flujos en un proceso BIOCARBONE*

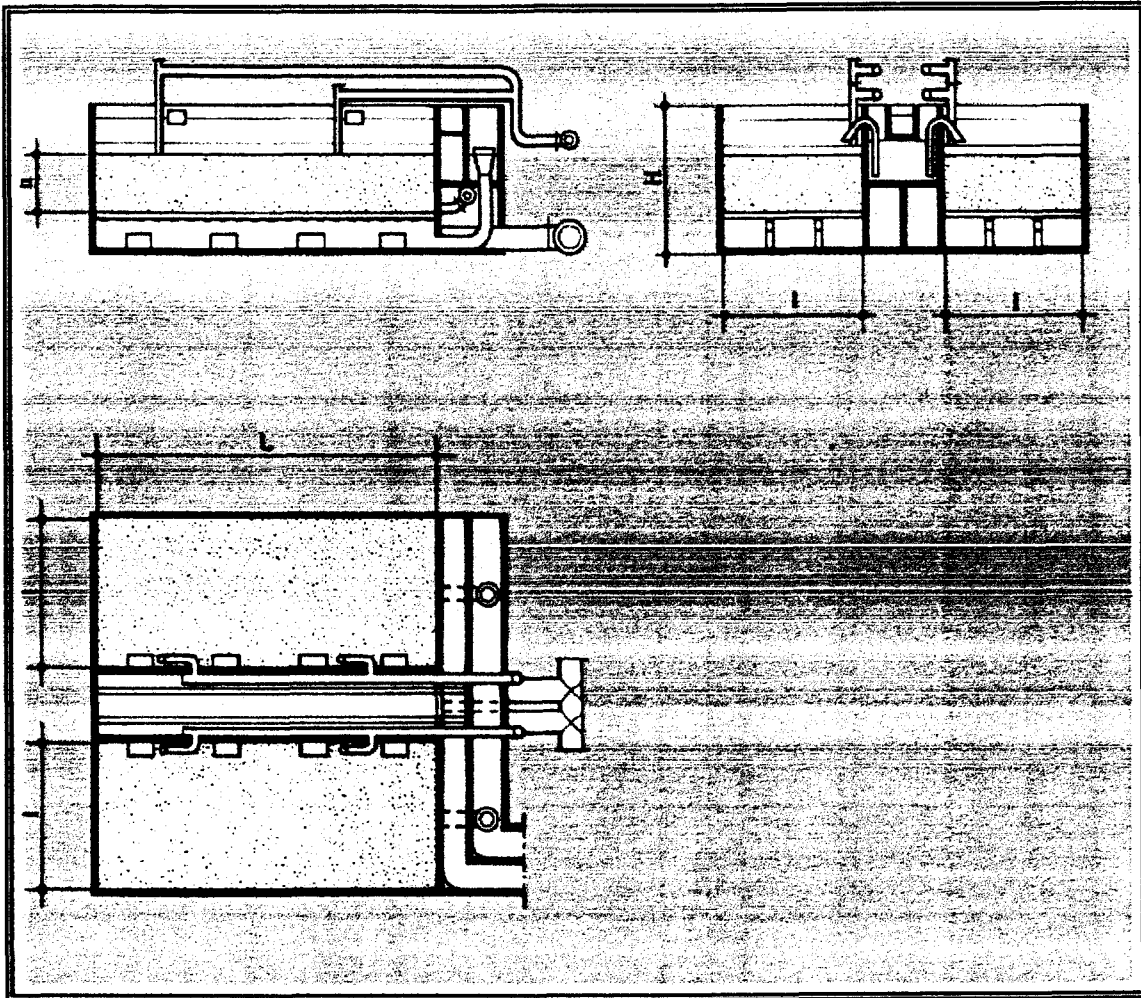


- 1.- Entrada de agua bruta
- 2.- Distribución de agua bruta
- 3.- Medio soporte del filtro
- 4.- Suelo con boquillas
- 5.- Tubo de agua tratada

- 6.- Vertedero ajustable
- 7.- Salida de agua tratada
- 8.- Alimentación de aire de proceso
- 9.- Distribución de aire de proceso
- 10.- Entrada de agua de lavado

- 11.- Distribución de agua de lavado
- 12.- Entrada de aire de lavado
- 13.- Recogida de fangos
- 14.- Salida de fango

Fig. 3.11.- Dimensiones de un biofiltro BIOCARBONE



L: 8 m \Rightarrow 14 m;

l: 3,5 m \Rightarrow 6,1 m.

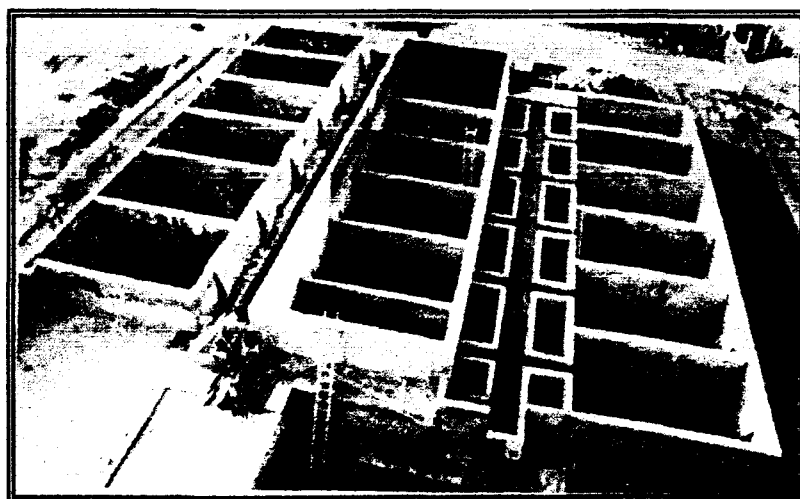
h: 1,5 m \Rightarrow 3,0 m;

H: 4,3 m \Rightarrow 5,8 m.

3.7.2.3.- Realización a escala real de un proceso BIOCARBONE

En la figura siguiente, se aprecia la compacidad de un proceso de filtros biológicos inundados (en este caso, de la patente Biocarbhone):

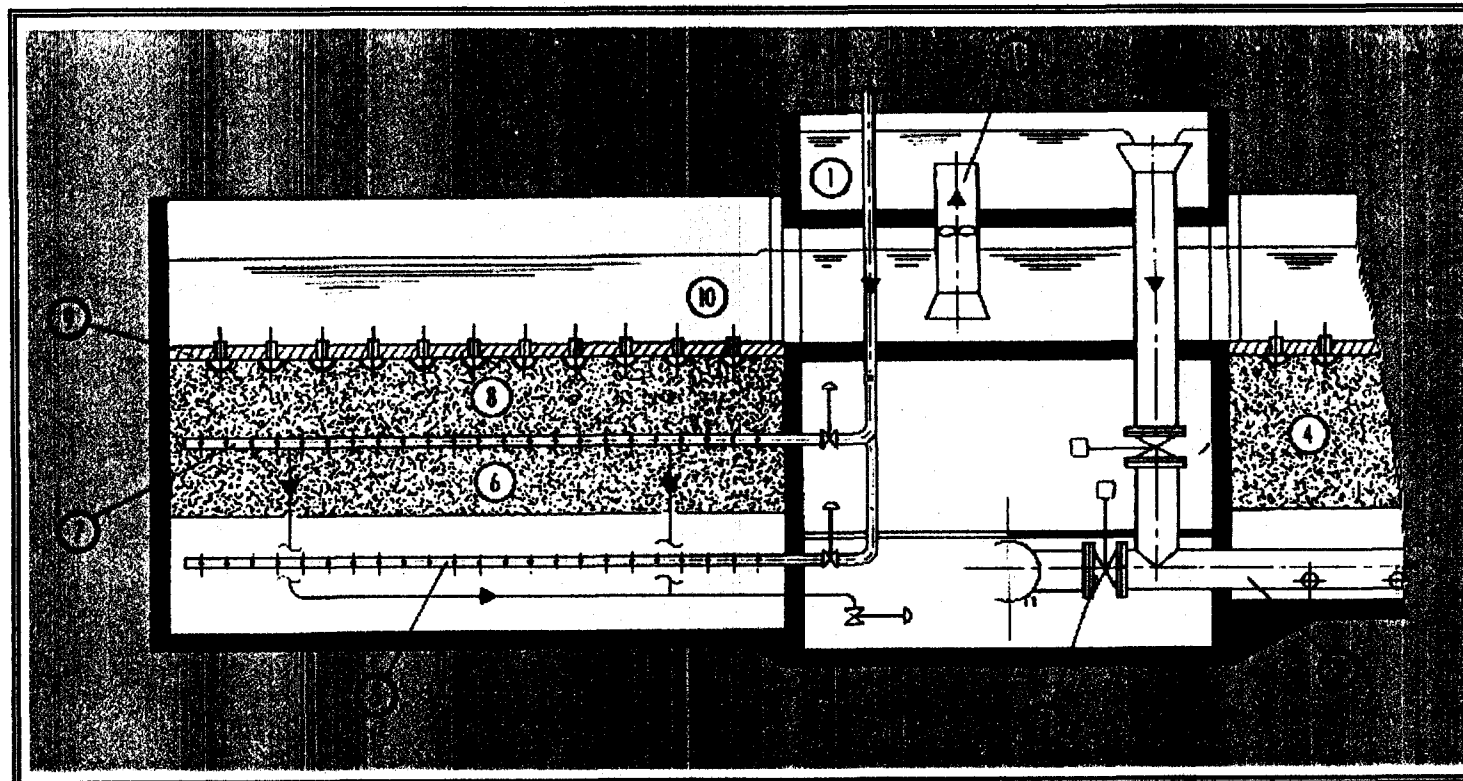
Fig. 3.12.- Realización a escala real de un biofiltro BIOCARBONE



3.7.2.4.- Diagrama de flujo del proceso BIOSTYR

Se remite a la página siguiente.

Fig. 3.13.- Diagrama de flujos en un proceso BIOSTYR



- 1.- Alimentación de agua bruta
- 2.- Orificios de alimentación y evacuación
- 3.- Válvula de lavado
- 4.- Material filtrante
- 5.- Aire de lavado
- 6.- Zona anóxica

- 7.- Aire de proceso
- 8.- Zona de filtración aerobia
- 9.- Plancha de retención
- 10.- Almacenamiento y evacuación de agua depurada
- 11.- Bomba de recirculación

3.7.2.5.- Diagrama de flujo del proceso BIOPUR

El esquema de diagrama de flujos de un proceso BIOPUR es similar a un proceso BIOCARBONE, pues ambos están diseñados con flujo contra-corriente. Las diferencias básicas entre ambos modelos radican en la zona inferior anóxica del Biocarbhone (al Biopur se le suministra aireación en la totalidad de su altura) y la naturaleza desigual del material de relleno de los filtros: en un caso se trata de un material esquistoso granular y, en el otro, de un material plástico.

3.8.- OTROS CAMPOS DE ESTUDIO EN LOS FILTROS BIOLÓGICOS Y PERSPECTIVAS DE FUTURO

3.8.1.- Biofiltración sin lavados

E.J. Daamen, M.C.M. van Loosdrecht y J.J. Heijnen (Universidad Tecnológica de Delft), y F.H. Delgorte (de Meyn Water Treatment), de Holanda, presentaron en la 3ª Conferencia Internacional Especial de la IAWQ sobre Sistemas Biopelícula, celebrada en Copenhague en Agosto de 1.996, los resultados obtenidos con la patente Biogenerator (patente número WO 93/01137).

El Biogenerator es un reactor biopelícula, de lecho flotante, que no necesita lavado y produce un fango en exceso muy concentrado. En concreto, la

aplicación en la que se llevó a cabo el estudio, fue el tratamiento de agua residual de un matadero de pollos.

El proceso usa un material de relleno flotante, esférico y con estrías profundas. El flujo es contracorriente. El material soporte cubierto por la biopelícula, se retira semi-continuamente por la parte superior del Biogenerator y, entonces, pasa a un separador mecánico de fango. Éste elimina el exceso de biopelícula del material y alcanza un contenido en sólidos secos de más del 4 %.

Las partículas del medio soporte, ya limpias, son recirculadas al fondo del reactor, donde las condiciones para la nitrificación son óptimas. Se busca la creación de tres zonas distintas dentro del mismo reactor con objetivos, asimismo, diferentes: filtración para retención de sólidos, eliminación de DQO y, finalmente, una zona nitrificante. Los datos aportados se recogen en el siguiente cuadro:

Cuadro 3.12.- Características de operación de un Biogenerator, a escala industrial

<i>Característica</i>	<i>Pretratamiento físico-químico</i>	<i>Pretratamiento físico</i>
<i>Tiempo de cada ciclo del material (días)</i>	10	3.5

<i>Carga en DQO aplicada (Kg.DQO / m³ / día)</i>	3.6 y 3.2	16.7 y 8.4
<i>Rendimiento de DQO eliminada (Kg.DQO / m³ / día)</i>	2.9 y 2.5	7.3 y 6.0
<i>DQO soluble en efluente (mg/l)</i>	98	448
<i>DBO5 soluble en efluente (mg/l)</i>	< 20	-
<i>Contenido de sólidos secos en los fangos en exceso (Kg.MS/m³)</i>	> 40	> 50

La altura del lecho fue de 7,6 metros, el flujo de agua de 20 m³/h, la temperatura se mantuvo en el rango 12-15 °C y el volumen de reactor era 73 m³.

Los valores del cuadro anterior son medios.

3.8.2.- Filtración en continuo

Esta es la característica principal de un grupo de biofiltros que pertenecen a la familia de los denominados, de lecho móvil. De este modo, no es necesaria la interrupción de la operación para proceder al lavado, al tiempo que se evita la duplicidad de equipos.

Uno de los modelos existentes de este ingenio es el *Dynasand* (S. Sugranyes y E. Estrada, 1.992). Aunque puede utilizarse para potabilización y tratamiento de aguas de río y lagos, también cabe su uso en el tratamiento de aguas residuales. Como puede observarse en la figura que se acompaña, la entrada de agua se realiza por la parte inferior central del filtro (1). El material de relleno del filtro (2) está dotado de movimiento (lecho móvil), en sentido descendente, con lo que el enfrentamiento entre el agua y el lecho de arena incrementa la eficiencia de los procesos de transferencia. El efluente filtrado se recoge por la parte superior (3).

La limpieza del material del filtro se realiza mediante una bomba tipo air-lift, situada en la parte central, que succiona la arena desde el fondo del lecho (4). La arena, junto con los sólidos retenidos, asciende a lo largo de la bomba de emulsión y, gracias a la diferente densidad de ambos componentes, se logra la separación entre ambos por medio de un desplazamiento diferencial. En la parte alta del recorrido del conducto, unas pantallas provocan, por choques de

partículas, el retorno de la arena (de mayor peso) al filtro (5), mientras que el fango es evacuado al exterior (6).

La movilidad del lecho evita la colmatación y compactación de la arena en las zonas más saturadas de impurezas. Además, la pérdida de carga permanece constante en toda la altura del filtro.

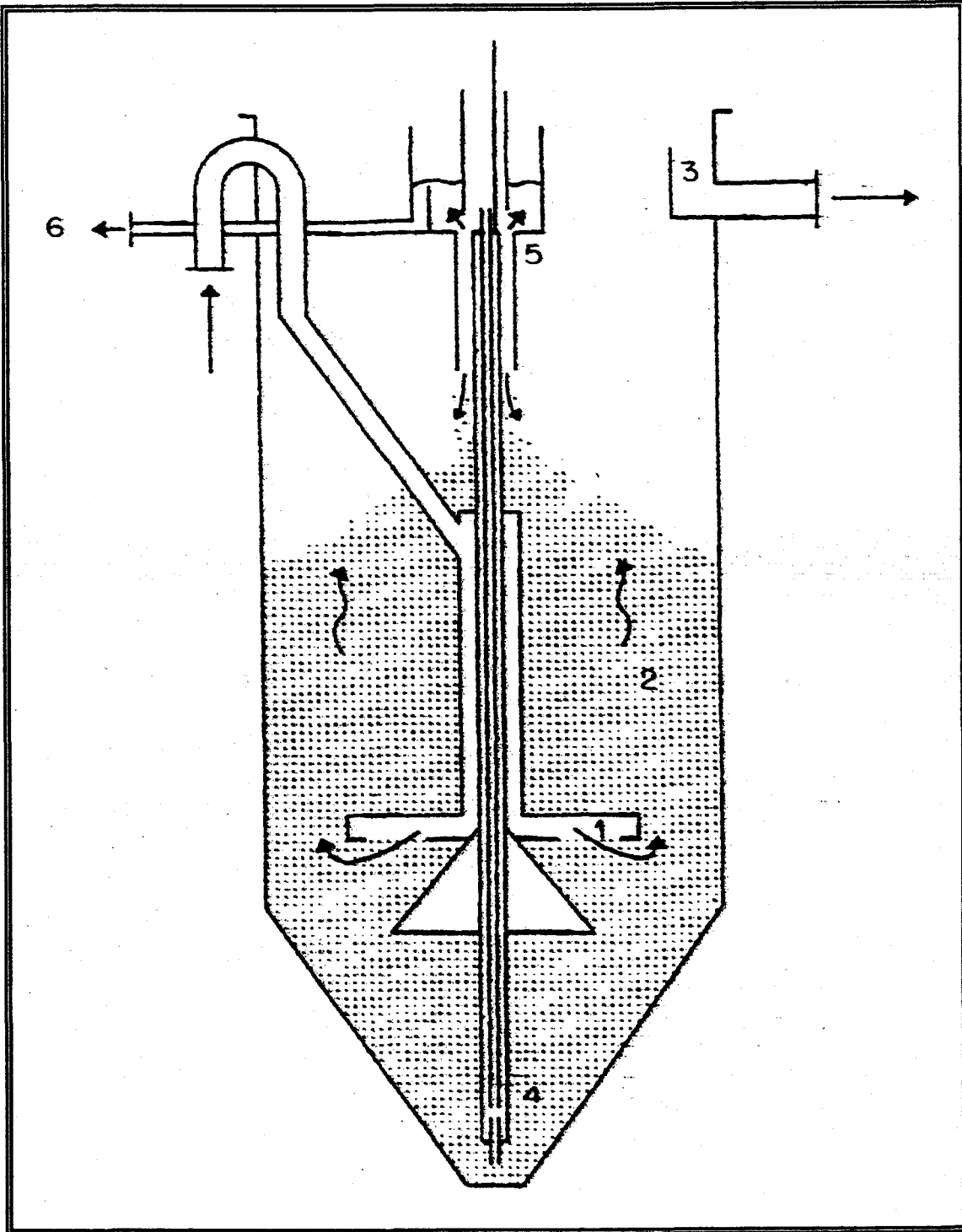
En la siguiente página, se tiene la sección asociada a la explicación anterior.

3.8.3.- Filtración en lecho seco con sistema multi-capa

Las referencias existentes sobre rellenos doble o multi-capa, como el utilizado en una parte de esta investigación, son muy reducidas en cantidad. La aplicación que suele encontrarse para este tipo de rellenos es la filtración en lecho seco. Su uso actual suele orientarse a las aguas potables, pero puede esperarse su utilización en aguas residuales si se quieren obtener niveles extraordinarios de depuración y la reutilización del agua residual.

En este tipo de procesos, el agua se alimenta por percolación (no son inundados) y, simultáneamente, el aire succiona a lo largo del filtro. La biopelícula es capaz de crecer en este medio.

Fig. 3.14.- Diagrama de flujos en un filtro Dynasand



Los lavados tienen lugar de modo similar a los efectuados en filtros biológicos inundados aireados: o sea, en el momento en que la pérdida de presión en el filtro, causada por un incremento de la pérdida de carga que excede un determinado valor, es alcanzada. En estos filtros, los lavados provocan una importante expansión del medio filtrante, hasta alcanzar prácticamente la fluidificación (A. Kraft y C.F. Seyfried; Hannover, Alemania, 1.992).

3.8.4.- Estudio de la biopelícula

Se cuentan en gran número los investigadores que dedican su esfuerzo al estudio de la biopelícula. Son diversos los aspectos que centran sus observaciones: grosor, densidad, porosidad, distribución en el reactor, etc. El objetivo principal de este tipo de estudios es obtener una descripción física más clara de la biopelícula, que junto a los conocimientos microbiológicos de la misma, permita servir de puente entre los modelos matemáticos de predicción en los procesos biopelícula y las observaciones reales y experimentales del fenómeno.

Algunas conclusiones importantes alcanzadas por T.C. Zhang y L. Bishop (Universidad de Cincinnati, Estados Unidos; 1.994) son las siguientes:

- ✓ El porcentaje de células viables respecto al total de la biomasa decrece desde el 72-91 % en las capas exteriores de la biopelícula, hasta el 31-

39 % en las interiores.

✓ La porosidad de la biopelícula varió desde un 84-93 % en las capas exteriores hasta un 58-67 % en las interiores. En contraste, el radio de poro medio de la biopelícula decreció desde 1,7-2,7 μm en las capas primeras, hasta 0,3-0,4 μm en las profundas.

✓ Igualmente, la densidad, basada en los ST y SVT, resultó entre 5-10 veces mayor en las capas exteriores que en las profundas.

3.8.5.- Otras líneas y aplicaciones de interés referentes a filtros biológicos inundados

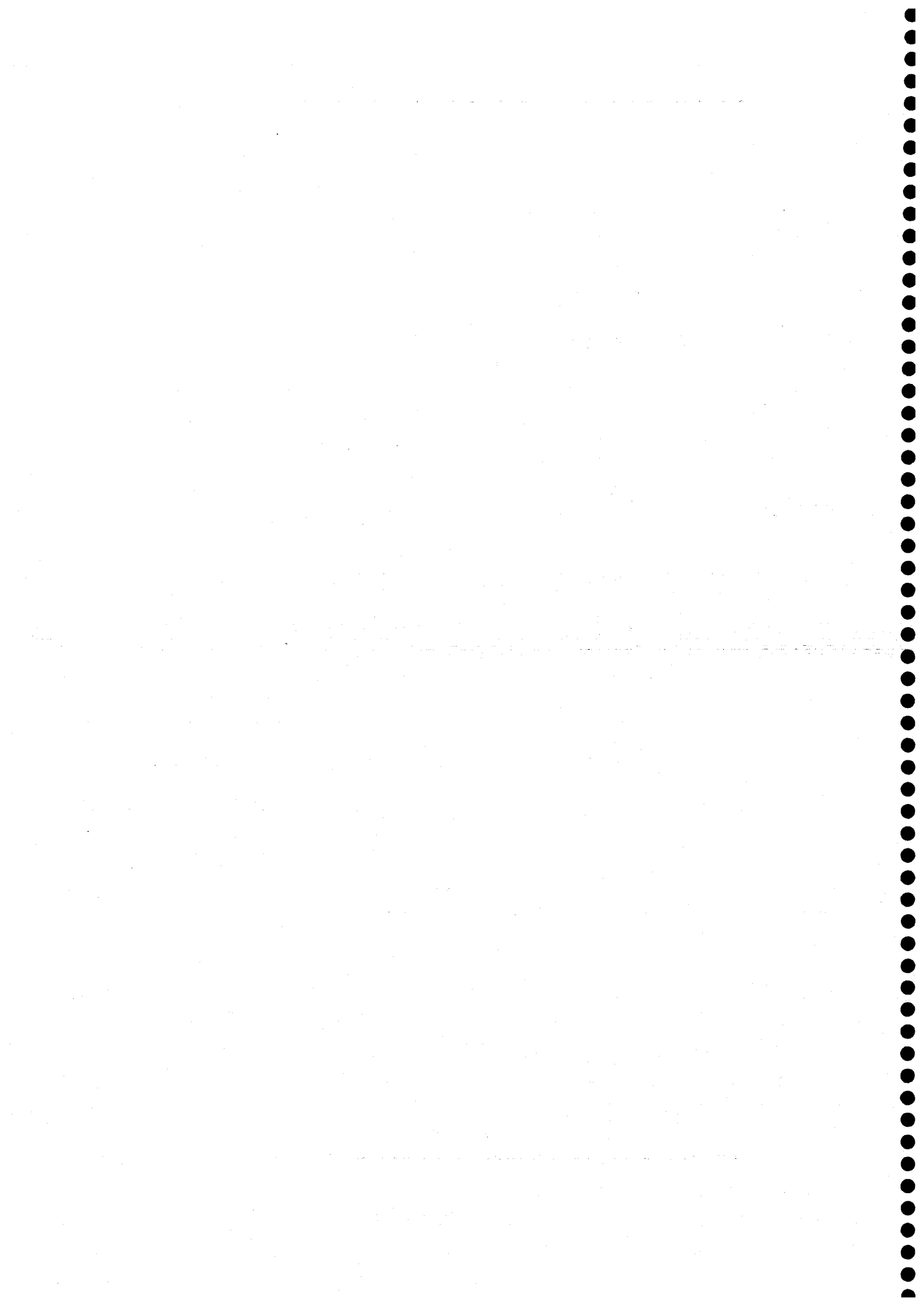
Finalmente, se enumeran una serie de líneas de investigación que se alejan de los objetivos de esta tesis, pero que no por ello adolecen de importancia y merecen su mención en este trabajo. De ningún modo, puede considerarse exhaustiva la siguiente lista:

✓ Desarrollo de modelos matemáticos predictivos de los procesos biológicos y, en particular, de los rendimientos de eliminación de distintos substratos o parámetros, en función de diversas variables y parámetros de entrada (*Stover y Kincannon, 1.982*).

- ✓ Pretratamiento de aguas de lagos y ríos, con el propósito de eliminar el grueso de la posible actividad biológica, emplazándose aguas arriba de tratamientos de agua que persiguen su reutilización (*M. Takasaki, H. Kim, A. Sato, M. Okada y R. Sudo; Japón, 1.992*).

- ✓ Filtros sumergidos utilizando un medio soporte con propiedades ferromagnéticas recubierto con biopelícula fijada por fuerzas de naturaleza magnética (*Yasuzo Sakai et al.; Japón, 1.994*).

- ✓ Reactores biopelícula secuenciales de membrana para tratamiento de lixiviados (*J. Dollerer y P.A. Wilderer; Alemania, 1.996*): este sistema se utiliza sobre todo para tratamiento de efluentes industriales no biodegradables, el soporte del filtro suele ser carbón activo, y suele regenerarse temporalmente. El sistema resulta bastante caro.



4.1.- VARIABLES

Las variables que pueden influir en el proceso son las siguientes:

4.1.1.- Caudal de agua (m³ / h)

Es el volumen de agua que pasa a través del filtro, por unidad de tiempo. Lógicamente, se trata de una variable fundamental, que condiciona todo el proceso, así como el diseño de las dimensiones de las instalaciones. Junto a los parámetros contaminantes, proporciona los valores de las cargas de trabajo, que resultan esenciales en el rendimiento del sistema.

4.1.2.- Carga contaminante aplicada

Estrictamente, no pueden considerarse variables las distintas formas de expresar las cargas aplicadas a un lecho inundado. Sin embargo, se incluyen en esta relación, porque se obtienen, en esencia, del resultado del producto de dos

factores que sí son variables, el caudal y la concentración de un determinado parámetro. Caben distinguir las siguientes expresiones de carga:

1) Carga (Kg. / día)

Se define como la cantidad (medida en unidades de peso) de un determinado parámetro indicador de la contaminación de entrada, que atraviesa el filtro, al cabo de un día. Se obtiene a partir de la siguiente formulación:

$$\text{Carga} = Q * C_i$$

Q = Caudal de agua a tratar

C_i = Concentración aplicada de un parámetro dado

Normalmente se refiere a la *DBO₅*, pero suele también hacerse a la *DQO* y a los *Sólidos en Suspensión*. Esta variable controla el nivel de concentración de la contaminación aplicada al lecho y, por tanto, del rendimiento esperado, en función del volumen de relleno filtrante.

2) Carga hidráulica (m³ / h / m²)

La *Carga Hidráulica* se define como el volumen de agua residual que atraviesa el lecho por unidad de tiempo. Se obtiene a partir de la siguiente formulación:

$$C_h = \frac{Q}{S}$$

Q = Caudal de agua a tratar

S = Sección de paso del filtro

Su utilidad reside en que proporciona un orden de magnitud del tiempo que el agua tarda en rebasar el filtro (o de otro modo, de la velocidad de paso); ésto resulta determinante en el proceso, pues mayores tiempos de retención (es decir, menores cargas hidráulicas) se traducen en mejores rendimientos y menores niveles de salida de los distintos parámetros indicadores de contaminación del agua tratada; pero, en oposición, redundan en mayores necesidades en el volumen de relleno y, por tanto, en un encarecimiento de la inicial implantación de las instalaciones.

Directamente a partir de la Carga hidráulica, puede obtenerse del producto de su inverso y la altura de relleno, el *Tiempo de Retención*. Se define, por tanto, como el tiempo que el agua permanece en el seno del filtro. En sistemas de lechos inundados, éste varía en función del grado de atascamiento que presenten los mismos, pues la pérdida de carga y, por tanto, la resistencia al paso del agua, no es constante en el tiempo.

3) Carga volumétrica o volúmica (Kg. / m³ / día)

Se define como la cantidad (medida en unidades de peso) de un determinado parámetro indicador de la contaminación de entrada, que atraviesa el filtro, referida a la unidad de volumen de relleno filtrante. Se obtiene a partir de la siguiente formulación:

$$C_{vol} = \frac{Q * C_i}{V}$$

Q = Caudal de agua a tratar

C_i = Concentración aplicada de un parámetro dado

V = Volumen de relleno filtrante

Normalmente se refiere a la DBO₅, pero suele también hacerse a la DQO y a los *Sólidos en Suspensión*. Esta variable informa del nivel de concentración de la contaminación aplicada al lecho y, por tanto, del rendimiento esperado, en función del volumen de relleno filtrante.

4) Carga Superficial (Kg. / m² / día)

Se define como la cantidad (medida en unidades de peso) de un determinado parámetro indicador de la contaminación de entrada, que atraviesa el filtro, referida a la unidad de superficie de relleno filtrante. Se obtiene a partir de la siguiente formulación:

$$C_{\text{superficial}} = \frac{Q * C_i}{S}$$

Q = Caudal de agua a tratar

C_i = Concentración aplicada de un parámetro dado

S = Sección de paso del lecho filtrante

Normalmente se refiere a la DBO_5 , pero suele también hacerse a la DQO y a los *Sólidos en Suspensión*. Esta variable informa del nivel de concentración de contaminación aplicada al lecho y, por tanto, del rendimiento esperado, en función de la sección de paso del relleno filtrante.

4.1.3.- Caudal de aire de proceso

La cantidad de aire insuflado al sistema por unidad de tiempo, permite conocer el *volumen de oxígeno suministrado* al mismo. Las unidades en que puede medirse esta variable son diversas. Las más usuales son: $Nm^3 / m^2 / \text{hora}$, y $Kg. O_2 / \text{hora}$.

En muchas ocasiones, se refiere al aire de proceso en términos relativos en cuanto a su rendimiento y productividad dentro del mismo, mediante la unidad: $Kg. O_2 / Kg. DBO_{5,eliminada}$. No conviene olvidar que el aire de proceso influye muy significativamente en la economía de la operación.

4.1.4.- Material de relleno

El material de relleno es fundamental en el comportamiento de un biofiltro. Principalmente, son dos facetas distintas las que interesan del material de relleno:

- 1) *Altura*
- 2) *Naturaleza del material soporte de la biopelícula*

El primer aspecto incide básicamente sobre el diseño de las instalaciones y, los distintos atributos que conforman el segundo, determinan la aptitud o inadecuación de un material para su uso como material de relleno del lecho. De la naturaleza del material, destacan por su interés, la *granulometría*, la *porosidad*, la *permeabilidad*, las *densidades seca y húmeda*, o la *superficie específica*.

4.1.5.- Variables referidas al lavado

Entre éstas, se pueden destacar las siguientes:

- ✓ *Carrera de lavado del filtro*, entendida como el tiempo transcurrido entre dos lavados consecutivos.
- ✓ *Duración de los ciclos del lavado*, y de cada una de las fases que lo componen.

✓ Caudal de agua de lavado.

✓ Caudal de aire de lavado.

4.1.6.- Temperatura

La temperatura de operación influye significativamente en cualquier proceso biológico. En efecto, la ocurrencia de diferentes rangos de temperatura, puede provocar condiciones favorables para la actividad y desarrollo de ciertos mecanismos biológicos, y puede inhibir otros. Además, causa desórdenes en la medida del aire suministrado, debido a la repercusión que tiene en la aireación, según las leyes fundamentales de los gases.

4.1.7.- Potencia instalada de los equipos mecánicos

Esta variable incide básicamente en los costes de primera instalación y explotación de una Estación Depuradora. Por supuesto, influye en el proceso, en tanto en cuanto, limita la aireación (de proceso y lavado) y las impulsiones que pueden realizarse.

4.2.- PARÁMETROS

Los principales parámetros que caracterizan la contaminación del agua residual y, en consecuencia, los rendimientos del sistema, pueden ser:

4.2.1.- Parámetros físicos

4.2.1.1.- Sólidos

Constituye el parámetro físico caracterizador del agua más importante. El total de los contenidos en el agua residual se denominan Sólidos Totales, y éstos engloban a los siguientes:

1) Sólidos en Suspensión

1.1) S.S. Sedimentables

1.2) S.S. no Sedimentables

2) Sólidos Disueltos

Los Sólidos Disueltos siempre, por esencia, no son sedimentables. A su vez, cada una de las dos clases principales de las anteriores, puede subdividirse, en base a su comportamiento a 500°C, en:

A) Sólidos fijos

B) Sólidos volátiles

Esta última clasificación resulta interesante desde el punto de vista del cálculo aproximado de la cantidad de materia orgánica presente en la fracción sólida del agua residual, que es lo que representan los sólidos volátiles, dentro de los sólidos totales.

Conviene controlar este parámetro, pues un vertido de agua residual con exceso de Sólidos en Suspensión, puede producir depósitos indeseados y condiciones anaerobias. Si el agua residual se va reutilizar, también habrá de controlarse la concentración presente de Sólidos Disueltos, tales como los constituyentes inorgánicos: calcio, sodio y sulfatos.

4.2.1.2.- Turbidez

La turbidez no es sino la expresión de las propiedades ópticas que provoca en un agua residual la luz incidente, en función de las materias suspendidas que contiene. Existe una relación casi unívoca entre la turbidez y la concentración de sólidos en suspensión presente, aunque es difícil establecerla cuantitativamente.

4.2.2.- Parámetros químicos

4.2.2.1.- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

Este índice mide el oxígeno utilizado, durante un periodo de incubación especificado, para la degradación bioquímica de materia orgánica (requerimiento de carbono), y el oxígeno utilizado para oxidar materia orgánica. Puede medir también el oxígeno utilizado para oxidar las formas reducidas del nitrógeno (requerimiento de nitrógeno), a menos que se impida esta oxidación por medio de un inhibidor.

La determinación de este parámetro resulta muy interesante para el cálculo

de las cargas de trabajo en las instalaciones de tratamiento y en la evaluación de la extracción de la DBO en las distintas etapas del tratamiento. Si un agua se vierte con exceso de DBO, podrían agotarse los recursos de oxígeno en el medio natural y provocar condiciones anóxicas.

Se define como la cantidad de oxígeno disuelto consumido en un agua residual debido a la "oxidación biológica" de la materia orgánica biodegradable que existe en este agua, bajo 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. Suele adoptarse la DBO a los cinco días.

En el cálculo de este parámetro se reproduce bastante aceptablemente los procesos biológicos que tienen lugar en la depuración del agua residual y presenta una relativa economicidad de determinación.

El ensayo utilizado para la determinación de la DBO presenta algunas limitaciones: la interferencia a cargo de los organismos nitrificantes, la influencia en los resultados de la temperatura, la afectación por parte de inhibidores, la arbitrariedad del período de tiempo requerido para la obtención de resultados, que al mismo tiempo resulta ser muy prolongado y, sobre todo, la falta de conocimiento exacto de lo que se mide, pues la estequiometría de las reacciones

que tienen lugar, varía en función de la concentración de materia orgánica soluble presente en la muestra.

4.2.2.2.- Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Es por los inconvenientes presentados acerca de la DBO, que se adoptan otros métodos de medida, aunque éstas se refieran a procesos que se asemejen menos a la realidad de los que tienen lugar en el agua residual. La DQO es uno de ellos.

Así, se define la Demanda Química de Oxígeno como la cantidad de oxígeno disuelto consumido por una muestra de agua residual, durante la oxidación química provocada por un agente químico fuertemente oxidante.

La relación encontrada entre la DBO_5 y la DQO informa sobre la presencia de vertidos industriales en el agua residual analizada y sus posibilidades de biodegradabilidad.

La DQO se determina rápidamente, aunque también se ve afectada por la temperatura y algunas sustancias inorgánicas interfieren en su determinación.

4.2.2.3.- pH

Los vertidos, tanto urbanos como industriales, contienen sustancias que

poseen un cierto carácter ácido o básico, pudiendo modificar dicho carácter del agua a la que llegan a formar parte.

En aguas residuales esencialmente urbanas, el valor del pH se encuentra en torno a 7. Los procesos biológicos de depuración suelen presentar un mayor desarrollo y actividad en el rango de pH comprendido entre 6,2 y 8,5. Los vertidos industriales pueden provocar oscilaciones inesperadas del pH, las cuales deben controlarse.

4.2.2.4.- Nitrógeno

Las formas de nitrógeno de mayor interés en las aguas residuales son, por orden decreciente de su estado de oxidación: *nitrito*, *amoníaco* y *nitrógeno orgánico*. Todas estas formas del nitrógeno, al igual que el nitrógeno gaseoso (N_2), son interconvertibles bioquímicamente y forman parte del ciclo del nitrógeno. El nitrógeno orgánico y el amoníaco se pueden determinar juntos analíticamente y se ha dado en denominar "nitrógeno kjeldahl", un término que refleja la técnica utilizada en su determinación.

El interés del conocimiento de este parámetro (el nitrógeno) se debe a razones diversas. Básicamente, la presencia de un exceso de nitrógeno en el agua residual, provoca, principalmente, eutrofización y enfermedades.

Sin embargo, si no existe una cantidad mínima de nitrógeno en el agua, los procesos biológicos se inhiben, estimándose este umbral mínimo en:

$$\frac{\text{ppm DBO}_5}{\text{ppm N}_{\text{total}}} = \frac{100}{5}$$

El nitrógeno del *nitrito*, es relativamente inestable y fácilmente oxidable a la forma de nitrato. Raramente excede la cantidad de 1 mg/l en el agua residual. A pesar de que su presencia suele darse en concentraciones pequeñas, la importancia del estudio de los nitritos en aguas residuales radica en su gran toxicidad para gran parte de la fauna piscícola y demás especies acuáticas.

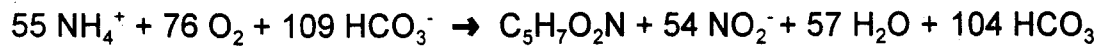
El nitrógeno del *nitrate*, por su parte, es la forma más oxidada del nitrógeno que se puede encontrar en las aguas residuales. Dadas las fatales consecuencias que provoca un elevado contenido de nitratos en el agua, sobre todo en los niños, ha de ser muy estricto su control si el agua residual tratada va a utilizarse para la recarga de acuíferos. Aunque suele encontrarse en pequeñas cantidades en el agua residual urbana, en los procesos biológicos de un sistema de tratamiento, puede ocurrir su producción. Es un nutriente esencial para muchos autótrofos fotosintéticos, y en algunos casos ha sido identificado como el determinante del crecimiento.

El **nitrógeno orgánico** es la forma principal en la que éste se encuentra en un agua residual. Sin embargo, su conversión a forma amoniacal es casi inmediata. Así, la edad de un agua residual puede medirse por la proporción de **nitrógeno amoniacal** que contiene.

Por su parte, en medio aerobio, la presencia abundante de nitrógeno en forma de nitrato, es un buen indicador de que la demanda de oxígeno se ha estabilizado en el seno del agua residual. Pero si se prevé que las algas y otras plantas van a poder aprovechar los nitratos para la síntesis de proteínas, puede ser necesario adoptar medidas para la reducción del nitrógeno presente para evitar la proliferación de estas plantas.

El conocimiento de las formas presentes del nitrógeno en el agua residual y en el agua tratada, informa del estadio en que se encuentra el proceso biológico de depuración. En efecto, los dos mecanismos principales que intervienen en la eliminación del nitrógeno son la **asimilación** y la nitrificación-desnitrificación. El primero consiste en la incorporación de nitrógeno a la masa celular de organismos que lo asimilan como un nutriente necesario para sus vidas. El proceso de **nitrificación** consiste en la reducción de la demanda de oxígeno por parte del amoniaco mediante su conversión a nitrato, en medio aerobio. Las reacciones que tienen lugar, se pueden expresar de la manera siguiente:

1) Acción de las bacterias *Nitrosomas*:



2) Acción de las bacterias *Nitrobacter*:



Por su parte, la **desnitrificación**, consiste en la eliminación de nitrógeno en forma de nitrato por conversión en nitrógeno gaseoso, en ausencia de oxígeno en el medio. Aquí sí se produce una eliminación neta de nitrógeno. Las reacciones de reducción del nitrógeno que tienen lugar, son las siguientes:



4.2.2.5.- Fósforo

El interés de controlar este parámetro estriba en su relevancia para el crecimiento de algas y otros organismos biológicos. Las formas más frecuentes con las que se presenta son: ortofosfato, polifosfato y fosfato orgánico.

La eliminación biológica de fósforo puede llevarse a cabo conjunta o independientemente a la del nitrógeno. En un tratamiento secundario que no se ha diseñado específicamente para la eliminación del fósforo, se suele eliminar de un 10 al 30 por 100 del presente, mediante mecanismos de síntesis celular. Una

eliminación más significativa requiere la alternancia de fases anaeróbicas y aeróbicas y un tratamiento adecuado del fango.

Como ocurre con el nitrógeno, si no existe una cantidad mínima de fósforo en el agua, los procesos biológicos se inhiben, estimándose este umbral mínimo en:

$$\frac{\text{ppm DBO}_5}{\text{ppm P}_{\text{total}}} = \frac{100}{1}$$

4.2.2.6.- Otros parámetros químicos

✓ Referentes a materias orgánicas:

Aceites y grasas

Sustancias tensoactivas

Fenoles

Tóxicos orgánicos (pesticidas, herbicidas, etc.)

Carbono orgánico total (COT)

✓ Referentes a materias inorgánicas:

Cloruros

Azufre

Compuestos tóxicos (Cu, Pb, Ag, etc.)

Metales pesados

Conductividad

- ✓ Gases en disolución: Nitrógeno, Oxígeno, CO₂, Sulfuro de Hidrógeno, amoníaco, metano.

De todos los anteriores parámetros (de menor incidencia y relevancia), cabe mencionar algunos aspectos de todos ellos. Los agentes tensoactivos, los fenoles y los pesticidas agrícolas destacan por su resistencia a la eliminación mediante los sistemas convencionales de tratamiento. Los metales pesados preocupan en el caso de reutilización de las aguas. Otros de los anteriores deben controlarse por su toxicidad o afectación a la salud. El carbono orgánico total se determina muy rápidamente y la lectura es instrumental, pero el Carbono no es la única fuente de demanda de oxígeno.

4.2.3.- Parámetros biológicos

- ✓ Coliformes, fecales y totales
- ✓ Estreptococos
- ✓ Bacterias anaerobias
- ✓ Bacterias aerobias
- ✓ Otros microorganismos

El aspecto más relevante acerca de estos parámetros, descansa en la

potencialidad para transmitir enfermedades, que caracterizan algunos de los anteriores contaminantes de naturaleza biológica.

4.2.4.- Parámetros organolépticos

El color y el olor son los principales parámetros organolépticos. Informan, básicamente, del grado de contaminación de un agua residual, así como del tipo de contaminación que portan.

5.1.- MÉTODOS ESTADÍSTICOS

El programa informático utilizado para el análisis estadístico de los resultados obtenidos fue el STATGRAPHICS Plus para Windows (versión 3.0). Las herramientas usadas en el examen y la interpretación de los datos consistieron, principalmente, en: análisis de regresión simple y análisis de la varianza multifactor (ANOVA).

En el caso de la *regresión simple*, el software se empleó para el conocimiento del mejor de los ajustes entre el total de modelos alternativos disponibles, la ecuación de la curva y un análisis de la varianza correspondiente a dicho ajuste, así como una serie de relevantes datos y parámetros referentes al mismo: errores estándar, t de Student, coeficiente de correlación, o el P-valor.

Durante la fase de Investigación de Fondo, sistemáticamente, se llevó a cabo un estudio de los datos de mayor influencia en los posibles cambios del modelo, si se prescindía de éstos. De igual modo, se procedió a la detección de datos anormales en el comportamiento general del modelo, achacables a rutinarios errores de la analítica u otros aspectos del sistema. De gran utilidad resultó la visualización gráfica y examen de los intervalos de confianza para la media de los distintos modelos y la predicción de valores.

El *análisis multivariante (ANOVA)* se consideró interesante para el estudio comparativo entre las distintas fases de trabajo desarrolladas a lo largo de toda la investigación, según la estrategia establecida. Se analizaron los niveles de salida de varios contaminantes del agua, covariando con las cargas volumétricas de los mismos aplicadas a los distintos reactores y etapas del proceso depurador.

Los factores introducidos en los estudios fueron los caudales de aire suministrado y las alturas de los rellenos. El objetivo principal consistió en determinar qué factores tenían un efecto significativo estadísticamente sobre los niveles de salida y, de igual forma, y sobre todo, se pretendió adquirir la misma información acerca de los distintos factores entre sí (es decir, si presentaban una diferencia significativa estadísticamente, al nivel de confianza del 95 %).

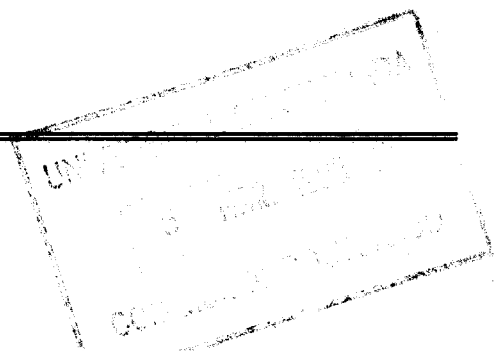
Del mismo modo al análisis de regresión simple, el programa informático proporcionó una serie de datos y parámetros que permitieron dictaminar sobre las cuestiones planteadas y descritas en el párrafo anterior: medias, intervalos de confianza para la media, errores estándar, grupos homogéneos de los que conforman un factor, o el P-valor.

El método utilizado para discriminar entre las medias fue el procedimiento de las mínimas diferencias significativas (LSD) de Fisher. Con este método, existe un 5 % de riesgo de designar a un par de medias diferentes significativamente, cuando la diferencia real es igual a cero.

En concreto, el modelo planteado se denomina MODELO DE ANÁLISIS DE LA COVARIANZA. Este modelo es, en esencia, una combinación de dos. El primero de ellos es un modelo de Regresión Lineal habitual, esto es:

$$Y = aX + b$$

donde Y es una variable cuyas observaciones dependen de los valores de otra variable (normalmente fijados). Por regla general, para los estudios llevados a cabo en este trabajo de investigación, la Y se correspondió con los niveles de salida de un contaminante determinado y la X, con las cargas volumétricas aplicadas.



Este modelo lineal se combina con un modelo de análisis de la varianza con un factor que, generalmente, se correspondió con las alturas de rellenos o caudales de aireación suministrados. Cada uno de estos factores presenta distintos niveles. El modelo genérico, en consecuencia, se formula como sigue:

$$y_{ij} = \mu + \alpha_i + \delta x_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

en donde,

y_{ij} es la variable dependiente

μ es el llamado efecto principal en un modelo de ANOVA

α_i es el efecto debido al factor

δx_{ij} es el efecto debido a la covariable

ε_{ij} es el término de error aleatorio.

La hipótesis habitual a contrastar en un modelo ANOVA es:

$$H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_i = 0$$

es decir, no existen diferencias significativas entre los i niveles del factor.

La hipótesis alternativa a la H_0 es que, al menos, una de las tres α_i es distinta de cero.

5.2.- METODOLOGÍA ANALÍTICA

Se procede inicialmente a enumerar los parámetros a analizar y cuantificar para, a continuación, describir la metodología seguida en la analítica de las aguas de entrada y salida de los lechos inundados y, por otra parte, de los materiales de relleno utilizados.

5.2.1.- Parámetros Organolépticos

- 1.- Color
- 2.- Turbidez
- 3.- Olor

5.2.2.- Parámetros Físico-Químicos

- 1.- Temperatura
- 2.- pH
- 3.- Conductividad
- 4.- Oxígeno disuelto
- 5.- Sólidos en suspensión, disueltos y totales
- 6.- Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO₅)
- 7.- Demanda Química de Oxígeno (DQO)
- 8.- Parámetros físico-químico (Nutrientes y/o tóxicos)
 - 8.1.- Nitratos

8.2.- Nitritos

8.3.- Amonio

8.4.- Nitrógeno Kjeldahl

8.5.- Carbono Orgánico Total (COT)

8.6- Fósforo

8.7.- Métodos de análisis para metales pesados

9.- Densidad, porosidad y granulometría

10.- Permeabilidad

5.2.3.- Parámetros Microbiológicos

1.- Coliformes totales

2.- Coliformes fecales

5.2.1.- Parámetros organolépticos

5.2.1.1.- COLOR

El color en el agua residual urbana, industrial o mixta, en su origen y tras su depuración puede ser debido a la presencia de iones metálicos como el manganeso o el hierro, humus y materiales tales como plancton, hierba y desechos industriales. El término 'color' se utiliza para el agua a la que le ha sido eliminada la turbidez; cuando se trata de 'color aparente' está incluido el debido a las sustancias en dilución y el debido a la materia en suspensión. Para determinar el color verdadero se procedería a un tratamiento de la muestra

mediante centrifugación o filtración.

La medición no procede realizarla por comparación visual en escala, debido a colores variables presentes en el agua residual, con lo que no se podría establecer un patrón 'cobalto-platino' u otro fijo, así que se hará espectrofotométricamente en la longitud de onda dominante dentro del rango que oscila entre 400 y 700 nm., en cubetas de cuarzo de no más de 10 mm. de ancho, comparando el resultado en la siguiente tabla:

LONGITUD DE ONDA	COLOR
400-465	violeta
465-482	azul
482-497	verde-azulado
497-530	verde
530-575	amarillo-verdoso
575-580	amarillo
580-587	amarillo-anaranjado
587-598	naranja
598-620	rojo-anaranjado
620-700	rojo
400-530	azul-púrpura
530-700	rojo-púrpura

Debido a que el color es extremadamente dependiente del pH al que se mida, se procederá siempre a su medición y se especificará el pH al que se ha efectuado.

5.2.1.2.- TURBIDEZ

La turbidez en el agua residual es debida a la presencia en la misma de materiales suspendidos, tales como arcillas, limos, materiales orgánicos e inorgánicos finamente divididos, compuestos orgánicos solubles coloreados y plancton junto con otros microorganismos. La turbidez es la expresión de las propiedades ópticas que provocan en la luz su dispersión y adsorción en mayor cuantía que las que atraviesan la muestra en línea recta. Es difícil establecer una correlación entre la turbidez y los sólidos en suspensión a causa del tamaño, forma e índice de refracción de sus partículas que también afectan a las propiedades de dispersión de la luz de la suspensión en sí.

Su expresión se realiza en unidades nefelométricas de turbidez y su cuantificación se realiza en un nefelómetro, aunque el polímero de formacina es usado como suspensión de referencia standard para la turbidez, y sus respectivas diluciones podrán servir como patrón para ir calibrando los distintos rangos de medida en el nefelómetro.

- Standard de formacina: Una solución acuosa de 0.5 g/l de sulfato de

hidracina y 5 g/l de hexametilentetramina, equivale a una concentración de 400 UNT.

Rangos de medida y precisión del nefalómetro:

RANGO U.N.T.	APROXIMACIÓN
0-10	0.05
1-10	0.1
10-40	1
40-100	5
100-400	10
400-1.000	50
> 1.000	100

5.2.1.3.- OLOR

Su origen suele estar en los gases producidos por la descomposición de la materia orgánica de nuestros receptores. En aguas residuales se trabaja mediante diluciones de la muestra en agua sin olor hasta alcanzar el valor en el cual se deja de apreciar el mismo: "Concentración umbral de olor".

Factores para la caracterización de un olor:

FACTOR	DESCRIPCIÓN
CARÁCTER	Se refiere a la asociaciones de materiales hechas por el sujeto al sentir el olor. Subjetiva.
DETECTABILIDAD	Número de diluciones requerido para reducir un olor a su concentración de olor umbral mínimo detectable. (COUMD)
SENSACIÓN	Al grado o desagrado del olor sentido por el sujeto.
INTENSIDAD	Correlacionado normalmente con la concentración del olor

5.2.2.- Parámetros físico-químicos

5.2.2.1.- TEMPERATURA

Es un parámetro que tiene un elevado significado ecológico, en el sentido de que elevadas temperaturas como resultado de descargas de aguas calientes pueden producir un impacto ambiental significativo, e incluso, a nivel de biomasa, en los sistemas de depuración. Aportan gran cantidad de información acerca de las variaciones, noche y día, utilizando termómetros de temperatura de máximos y mínimos, variaciones térmicas en las medias estacionales y su repercusión sobre la microfauna y los rendimientos de un sistema de depuración mediante lechos inundados. Se efectúan las medidas con termómetros celsius de mercurio con marcas de escala cada 0.1 °C sobre un tubo capilar y una capacidad térmica mínima que permita un equilibrado rápido. Todo ello contrastado con sondas térmicas de precisión certificadas por el 'National Bureau of Standards'.

5.2.2.2. - pH

Influye sobre la velocidad de las reacciones de oxidación biológica y sobre la supervivencia de los propios microorganismos. El intervalo de concentración idóneo para la existencia de la mayoría de la vida biológica es muy estrecho y crítico. La mayoría de los microorganismos y, en particular las bacterias, se desarrollan sin problemas en aguas con pH entre 6.5 y 8.5 (MOPU 1988). El agua residual con una concentración adversa de ión hidrógeno es difícil de tratar por medio biológico, que tiene su importancia en el sistema de depuración de lechos inundados, y si la concentración no se altera antes de la evacuación, el efluente puede modificar la concentración de las aguas naturales (Metcalf).

A una temperatura dada, la intensidad del carácter ácido o básico de una solución está indicada por el pH o actividad del ión hidrógeno. El agua pura está muy poco ionizada y en equilibrio su producto iónico es:

$$[H^+] [OH^-] = K_w = 1.01 \times 10^{-14} \text{ a } 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{y } [H^+] [OH^-] = 1.005 \times 10^{-17}$$

donde:

$[H^+]$ = concentración de los iones de hidrógeno, moles/l.

$[OH^-]$ = concentración de iones hidróxilo, moles/l.

K_w = producto iónico del agua

A causa de las interacciones iónicas en todas las soluciones diluídas, es necesario usar la actividad de un ión y no su concentración molar. La actividad del ión hidrógeno es considerada como equivalente a la molaridad, siendo asumida sólo en soluciones muy diluídas.

Es conveniente usar una escala logarítmica para expresar el amplio rango de actividades iónicas:

$$(\log_{10} [H^+]) + (-\log_{10} [OH^-]) = 14$$

$$pH + pOH = pK_w$$

donde:

$$pH = -\log_{10} [H^+]$$

$$pOH^{(1)} = -\log_{10} [OH^-]$$

Medida:

La determinación de la actividad de los iones hidrógeno se ha realizado mediante medición potenciométrica utilizando electrodos de vidrio y de referencia, junto con una sonda de compensación de temperatura; la fuerza electromotriz (f.e.m.) producida en el sistema de electrodo de vidrio, varía linealmente con el pH y esta relación lineal se describe comparando la f.e.m., medida con el pH de diferentes tampones. El pH de la muestra se determinó por extrapolación, o directamente por lectura del valor aportado gracias a la curva de calibración interna del peachimetro en sí.

CUADRO DE VALORES PATRÓN DEL pH

Temperatura	Tartrato (Saturado)	Citrato (0.05 M)	Ftalato (0.05 M)	Fosfato (1:1)	Fosfato (1:3.5)	Borax (0.01 M)	Carbonato (0.025 M)	Tetraoxalato (0.05 M)	Hidróxido Cálculo (Saturado)
0		3.863	4.003	6.984	7.534	9.464	10.317	1.666	13.423
5		3.840	3.999	6.951	7.500	9.395	10.245	1.668	13.207
10		3.820	3.998	6.923	7.472	9.332	10.179	1.670	13.003
15		3.802	3.999	6.900	7.448	9.276	10.118	1.672	12.810
20		3.788	4.002	6.881	7.429	9.225	10.062	1.675	12.627
25	3.557	3.776	4.008	6.865	7.413	9.180	10.012	1.679	12.454
30	3.552	3.766	4.015	6.853	7.400	9.139	9.966	1.683	12.289
35	3.549	3.759	4.024	6.844	7.389	9.102	9.925	1.688	12.133
38	3.548		4.030	6.840	7.384	9.081		1.691	12.043
40	3.547	3.753	4.035	6.838	7.380	9.068	9.889	1.694	11.
45	3.547	3.750	4.047	6.834	7.373	9.038	9.856	1.700	
50	3.549	3.749	4.060	6.833	7.367	9.011	9.828	1.707	
55	3.554		4.075	6.834		8.985		1.715	
60	3.560		4.091	6.836		8.962		1.723	
70	3.580		4.126	6.845		8.921		1.743	
80	3.609		4.164	6.859		8.885		1.766	
90	3.650		4.205	6.877		8.850		1.792	
95	3.674		4.227	6.886		8.833		1.806	

5.2.2.3.- CONDUCTIVIDAD

Es una expresión numérica de la capacidad de una solución para conducir la corriente eléctrica, la cual depende de la concentración total de iones y de la naturaleza de estos, movilidad, valencia y concentraciones relativas, así como de la temperatura de medición. Las moléculas de componentes orgánicos que no se disocian en soluciones acuosas tienen una conductividad escasa o nula. La unidad de medida es el Siemens/cm, antes llamada Mho/cm. Para la medición se ha utilizado un conductímetro 524 controlado por microprocesador, con célula de conductividad con compensador automático de temperatura (CAT) incorporado cuya corrección arroja un valor de conductividad que tendría la disolución a una temperatura de 25 °C según norma U.E. (TR=25 °C)⁽¹⁾. Puesto que la propia conductividad depende de la temperatura, se debe hablar del coeficiente de temperatura TC como el porcentaje de variación de la conductividad por cada grado centígrado. La mayor parte de las disoluciones acuosas poseen un coeficiente de temperatura aproximadamente de 2% / °C.

(1) TR = Temperatura de Referencia

Temperatura °C	Conductividad Específica (KCl 0.010 M μ S/cm)
15	1147
16	1173
17	1199

18	1225
19	1251
20	1278
21	1305
22	1332
23	1359
24	1386
25	1413
26	1440
27	1467
28	1494
29	1522
30	1549

La salinidad es una forma alternativa de la expresión de la conductividad, refiriéndose a la concentración de NaCl de una hipotética disolución que tuviera la misma conductividad que la muestra en medición. Las unidades son mg/l de NaCl. Sus mediciones requieren, igualmente, compensación de temperatura.

Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Salinidad (NaCl), en mg/l, a 25 °C
12	5,5
20	9,3
50	23,4
100	47,0
200	94,6

300	142,8
400	191,4
500	240,5
600	289,8
800	389,4
1000	489,6

La conductividad se ha medido con una célula constituida por dos electrodos de grafito inatacable y posee una constante que depende de la geometría de la célula; los electrodos están conectados a un amplificador que, a su vez, alimenta al instrumento indicador; lleva incorporada igualmente una sonda de temperatura tipo pT-100 para la compensación a 25 °C.

Cálculo: medida "in situ", directa con la célula y lectura en el instrumento indicador

5.2.2.4.- OXÍGENO DISUELTO

En aguas residuales, la presencia de oxígeno disuelto suele ser de escasa cuantía. El agua residual sin depurar presenta una demanda inmediata de oxígeno, consecuencia del ambiente reductor reinante en todo este medio. No obstante, la determinación del oxígeno disuelto es interesante como prueba de la contaminación del agua y el control del proceso de tratamiento de aguas residuales (Metcalf).

Principio (Método del ELECTRODO SELECTIVO): En este método se utiliza un electrodo y medidor W.T.W. modelo oxi-92, poseyendo el electrodo una membrana sensible al oxígeno, de tipo polarográfico, compuesto por dos electrodos metálicos sólidos en contacto con un electrolito de soporte separado de la solución problema por una membrana selectiva. Posee un compensador de temperatura automático por medio de termistores en el circuito de electrodo). El método se basa en la tasa de difusión de oxígeno molecular a través de la membrana.

La medición debe hacerse con una compensación barométrica y de temperatura; ésta se hace automáticamente, y la barométrica se realiza manualmente en el momento de la medición. La decisión para escoger este método frente al yodométrico, ha sido simple, pues para la preservación de la capacidad oxidante del O₂ se requiere un proceso que provocaría menor fiabilidad por causa de los muestreos in-situ y su fijación inmediata.

Parámetro analizado in-situ: medida directa en electrodo selectivo, en mg O₂ / l.

5.2.2.5.- SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN, DISUELTOS Y TOTALES

Se trata de las partículas insolubles presentes en el agua residual. Dependiendo del tamaño de la partícula, se puede dividir en las que son capaces

de formar suspensiones estables en el agua en reposo (suspensiones coloidales) y las que sólo se encuentran en suspensión cuando el agua está en movimiento y, además, quedan sedimentados en el fondo de un cono de Imhoff tras una hora de reposo.

Los sólidos en suspensión se pueden clasificar en sedimentables y no sedimentables (Catalán,J.). Los sólidos en suspensión pueden conducir al desarrollo de depósitos de fangos y de condiciones anaerobias cuando se vierte agua residual sin tratar al entorno acuático (Metcalf - Degrémont).

1) Sólidos en suspensión totales. (S.S.T.):

Se filtra una muestra bien homogeneizada a través de un filtro seco, de peso conocido, estándar de fibra de vidrio y tamaño medio de poro ($2,5 \mu$), mediante vacío a -600 mm.hg ; es necesario un volumen suficiente de muestra para que el incremento del peso seco del filtro más los sólidos retenidos se duplique respecto al peso inicial del filtro, de este modo se evitarán errores significativos al calcinar la muestra para la determinación del contenido en materia orgánica de los sólidos en suspensión. El residuo retenido en el filtro se deshidrata hasta peso constante a $103-105 \text{ }^\circ\text{C}$; el incremento de peso en el filtro representa los sólidos totales en suspensión por la unidad de volumen filtrado.

Cálculo:

$$\text{Sólidos en suspensión (mg/l)} = \frac{(A-B) \cdot 1000}{\text{Volumen de muestra (ml)}}$$

donde: A= peso del filtro + residuo seco (mg)

B= peso del filtro (mg)

2) Sólidos en suspensión no sedimentables. (S.S.N.S.):

Tras dejar reposar una muestra homogeneizada durante 30' en un cono de Imhoff, se barrerá de las paderes del cono los sólidos adheridos, se volverá a dejar reposar durante otros 30' y se recogerá del seno del cono una muestra representativa procediéndose a su filtración tal y como se indica en la determinación de los sólidos en suspensión totales; el cálculo se realiza de la misma manera que para los S.S.T.

3) Sólidos en Suspensión Sedimentables (S.S.S.)

Mediante cálculo en las mismas unidades, se obtiene por diferencia entre los S.S.T. y los S.S.N.S.:

$$\text{Sólidos en Suspensión Sedimentables (mg/l)} = \text{S.S.T.} - \text{S.S.N.S.}$$

4) Sólidos Totales. (S.T.):

Se trata del contenido total de materiales en suspensión de una muestra de agua residual más todos aquellos compuestos orgánicos e inorgánicos que precipitan tras la evaporación de un volumen conocido de muestra a 103 -105 °C hasta pesada estable una vez enfriada en desecador. En este caso cabe decir que algunos metales como el mercurio pueden perderse y una pequeña fracción de elementos volátiles.

Cálculo:

$$\text{Sólidos Totales (mg/l)} = \frac{(A-B) * 1000}{\text{Volumen muestra (ml)}}$$

donde:

A= Peso seco de la cápsula (cerámica ó acero inox.) mg/l + sólidos totales

B= Peso seco de la cápsula (mg/l)

5) Sólidos Disueltos (S.D.)

Son todos aquellos residuos, expresados en mg/l, que quedan tras evaporar un volumen conocido del filtrado que atraviesa el filtro de fibra de vidrio utilizado para el cálculo de los sólidos en suspensión totales.

Cálculo:

Se efectúa por diferencia entre el valor de los sólidos totales y los sólidos en suspensión totales.

$$\text{Sólidos disueltos (mg/l)} = \text{S.T.} - \text{S.S.T.},$$

o efectuando el ensayo específico de laboratorio:

$$\text{Sólidos Disueltos (mg/l)} = \frac{(A-B) * 1000}{\text{Volumen muestra (ml)}}$$

donde: A= peso cápsula + sólidos disueltos (mg)

B= Peso cápsula (mg)

Para evitar errores acumulables, se procede al cálculo mediante la utilización de datos ya obtenidos para otros parámetros.

5.2.2.6.- DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO A LOS 5 DÍAS (DBO₅)

Se conoce este término como el consumo de oxígeno procedente, bien de una solución acuosa o bien del aire contenido en un frasco tras incubación durante cinco días en condiciones bien definidas, siendo éstas:

- a temperatura de 20 °C regulada por un frigotermostato.
- en oscuridad.
- asegurando una continua disponibilidad de oxígeno.
- sin limitación de nutrientes y con un pH muy próximo a 7,6.

Este consumo de oxígeno se realiza por la propia actividad microbiológica de la fauna inherente a la propia muestra de agua residual a analizar o por un inóculo en su labor de ir degradando los compuestos carbonosos orgánicos e inorgánicos reducidos, y en menor medida por la propia capacidad oxidante del oxígeno sin mediar actuación biológica sobre los compuestos reducidos del agua residual.

La oxidación de las materias orgánicas no es sólo la causa del fenómeno del consumo de oxígeno, 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 para 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.

Un posible método de análisis es el del oxígeno disuelto. Se trata de un método bastante laborioso, que consiste en utilizar un frasco Winkler de 250 ml enrasado con agua exenta de cloro residual y cloraminas y saturado de oxígeno disuelto, el cual previamente ha sido inoculado con fango biológico para asegurar plena actividad biológica desde el tiempo cero. Se procede a la adición de nutrientes y tampón fosfato, además se le añade un volumen suficiente de muestra de agua residual con la que el consumo en 5 días del oxígeno disuelto

en el frasco cerrado será aproximadamente el 50 % del inicial; se preestablece una correlación experimental DQO/DBO₅ para poder estimar los volúmenes de agua residual a introducir en los frascos, bien sea agua de entrada o de salida. La medida del oxígeno disuelto se realiza tal y como se describe en la técnica del "oxígeno disuelto" mediante sonda de oxígeno introducida en el frasco con ajuste hermético para evitar transferencia por disolución desde el ambiente, esta medida se hace a tiempo cero y a tiempo cinco días.

Para la realización de este análisis es necesario llevar siempre un blanco para restarle el valor inicial del oxígeno que se consume por la propia DBO₅ del inóculo, presencia de compuestos carbonosos y algún microcontaminante al adicionarle los nutrientes.

Cálculo:

$$\frac{(O_1 - B) - O_2}{V} \times 250$$

donde:

- O₁ = Oxígeno disuelto a tiempo cero en muestra problema.
 - O₂ = Oxígeno disuelto a tiempo cinco días en muestra problema.
 - B = Oxígeno consumido en 5 días en el Blanco.
 - V = Volumen de agua residual utilizado como muestra.
-

Los volúmenes de muestra de agua residual utilizados se predeterminan en base a unos datos de partida:

- Oxígeno disuelto inicial: 8 mg/l.
- DBO₅ estimada agua entrada: 350 mg/l.
- DBO₅ estimada en agua de salida: 50 mg/l.

Cálculos:

$$V.A. \text{ Entrada} = \frac{4 \text{ mg O}_2/\text{l} \times 0.250 \text{ l}}{\frac{1 \text{ l}}{50 \text{ mg/l}}} \times 1 \text{ l} = 0.286 \text{ ml}$$

donde:

V.A.Entrada = Volumen de muestra de agua de entrada (bien homogeneizada)

V.A.Salida = Volumen de muestra de agua de salida (bien homogeneizada)

4 mg O₂/l = Disponibilidad del 50% del oxígeno disuelto inicial.

0.250 l = Volumen del frasco Winkler.

Este método fue descrito por Swyer y Bradney (1946) actualizado en la 17 edición del "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater".

Materiales:

- Frigotermostato de 280 litros de capacidad con regulación digitalizada y precisión de 0,1 °C dotado de alarma por fallo en el sistema de refrigeración.
- 20 frascos Winkler aforados, cierre esmerilado y cono en la boca para extravasado de líquido sin pérdida del mismo.
- 20 Imanes teflonados para agitación durante la medición con sonda de oxígeno 20x4 mm.
- Soluciones: (se les añade 0,25 ml de cada una al frasco Winkler).

- Solución A:

- KH₂ PO₄. 8,5 g
- K₂ H PO₄ 21,75 g
- NA₂ HPO₄ x 7 H₂ O . . 33,4 g
- NH₄ CL 1,7 g
- Agua destilada . Hasta 1000 ml.

- Solución B:

Mg SO₄ x 7 H₂ O 22,5 g

Agua destilada . . Hasta 1000 ml.

- Solución C:

Cl Ca 27,5 g

Agua destilada . . Hasta 1000 ml

- Solución D:

Cl Fe x 6 H₂ O 0,25 g

Agua destilada . . Hasta 1000 ml

- Oxímetro portátil de oxígeno con compensación de temperatura a 25 °C (según norma C:E:E:) y corrección por presión barométrica con sonda que ajuste a la boca de los frascos Winkler.

Otro posible método de análisis es el método manométrico.

Instrumentación:

El aparato se compone de un manómetro de mercurio, en el que se introduce la muestra. La flora bacteriana que ya está presente en la muestra, o bien, adicionada artificialmente, consume oxígeno progresivamente y produce

dióxido de carbono, que se elimina en el sistema por absorción sobre hidróxido potásico. Podemos así relacionar la consiguiente disminución de presión que se crea en el interior del sistema, con los ppm de oxígeno consumidos mediante una simple lectura en el manómetro de mercurio.

La toma de datos se hará transcurridos cinco días, y a la temperatura de 20°C, como norma estandarizada.

Para comenzar a trabajar, las tapas del manómetro deben desenroscarse e introducir 2 mL de mercurio y aproximadamente 0,5mL de agua destilada para generar una cierta presión de vapor.

Procedimiento:

- 1º) Llenar las botellas con la cantidad de agua necesaria una vez seleccionada la escala de trabajo. Posteriormente, introducir el agitador magnético.

- 2º) Llenar con sosa el contenedor de la parte inferior del tapón de la botella, evitando derramar el contenido por el agujero. El pH de la muestra debe estar en un rango de 6,5-8,5, debiéndolo ajustar con ácido clorhídrico o sosa.

- 3º) Aflojar los tapones y colocar las botellas en el aparato.

- 4º) Colocar el aparato en el refrigerador con circulación forzada de aire a una temperatura de 20°C, mantenerlo durante 30-40 minutos.

- 5º) Cuando se ha alcanzado el equilibrio térmico, cerrar bien los tapones y colocar los conectores lubricados. Hacer coincidir el cero de la escala con el menisco del mercurio.

Elección de la escala:

La escala nos marca directamente el oxígeno consumido en ppm. El rango de concentración de las escalas de medida puede ser ampliado mediante dilución adecuada de las muestras.

Lectura de datos:

Para realizar la lectura correctamente, es aconsejable seguir la evolución del consumo de oxígeno con el tiempo, realizando lecturas diarias y, de este modo, evitar que se agote la escala antes de haber transcurrido los cinco días estandarizados, por exceso de demanda bioquímica contenida en el agua. En general, debemos de tener en cuenta:

- 1º) La cantidad de oxígeno consumido durante la reacción se incrementa
-

con el tiempo hasta llegar a un valor constante.

2º) Cada día se consume menos oxígeno que el día anterior.

5.2.2.7.- DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)

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 cuando la toma de muestra tiene un origen determinado. La DQO puede relacionarse con la DBO. La prueba es útil para estimar y controlar la DBO_5 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.

Para esta determinación se emplea una volumetría tras oxidación a reflujo cerrado con dicromato potásico. El método de reflujo cerrado es adecuado para una amplia gama de residuos en los que se prefiere un tamaño reducido 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.

La mayor parte de la materia orgánica resulta oxidada por una mezcla 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 valora con sulfato de amonio ferroso para determinar la cantidad de dicromato consumida y calcular la materia orgánica oxidable en términos de equivalente de oxígeno. Se mantienen constantes las proporciones de pesos de reactivos, de volúmenes y de concentración cuando se utilicen volúmenes de muestra distintos de 50 ml.

Materiales:

- Termoreactor regulable a 150 ± 5 °C y temporizador de cuenta atrás de 120 minutos, con accesorio de bloque metálico con perforaciones para insertar los matraces de digestión.
- Matraces o tubos de digestión adecuados para el bloque metálico de 200 ml y boca esmerilada para inserción de refrigerantes por reflujo.
- Refrigerantes adecuados para los tubos de digestión.
- Bureta para la valoración.

- Dosificadores para botella de 50 ml para evitar manipulación de ácido.
- Agitador magnético e imanes teflonados.
- Balanza analítica (0,1 mg)

Reactivos:

- Solución digestora (0,0167 M en $K_2 Cr_2 O_7$), cuya composición es:

$K_2 Cr_2 O_7$	4,913 g
Hg SO_4	33,3 g
$H_2 SO_4$	167 ml
Agua destilada .. c.s.p.	1000 ml

Esta solución (1,5 ml) se mezcla con 2,5 ml de muestra perfectamente homogenizada y representativa, para obtener resultados reproducibles y contrastables con el método del reflujo abierto que utiliza un volumen mayor de muestra, se le añade también 3'5 ml de una solución de sulfato de plata que actúa como catalizador de la reacción.

$Ag_2 SO_4$	5,5 g
$H_2 SO_4$	1 Kg

Tras la mezcla de reactivos se mantiene, a 150 °C, a reflujo durante 2 horas, transcurrido este tiempo se enfría hasta temperatura ambiente y se

procede a su valoración tras añadirle tres gotas del indicador. Para la valoración, se empleó sulfato ferroso amónico en una solución 0,1 M.

$(\text{SO}_4)_2 (\text{NH}_4)_2 \text{Fe} \times 6 \text{H}_2 \text{O}$	39,2 g
$\text{H}_2 \text{SO}_4$	20 ml
Agua destilada	c.s.p. 1000 ml

El indicador empleado fue Ferroína, siendo el color final de la valoración el viraje de azul verdoso a rojo. Igual procedimiento se realiza para una muestra en blanco.

Cálculos:

$$\text{DQO (mg O}_2 \text{ /l)} = \frac{(V_b - V_p) \times M \times 8000}{\text{Vol. muestra}}$$

donde:

V_b = Volumen de sal de Mohr empleado en el blanco.

V_p = Volumen de sal de Mohr empleado en el problema.

M = Molaridad de la sal de Mohr.

Empleando una solución-patrón de Biftalato potásico ($\text{HOOC C}_6\text{H}_4\text{COOK}$)
secada hasta peso constante a 105°C .

Biftalato potásico 425 mg
Agua destilada c.s.p. 1000 ml

- D.Q.O. teórica de la solución: $500 \text{ mg O}_2 / \text{l}$. Preparar siempre para cada uso y no conservarla salvo congelación hasta 3 meses.
- D.Q.O. teórica del Biftalato potásico: $1176 \text{ mg O}_2 / \text{g}$

5.2.2.8.- PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS (NUTRIENTES Y/O TÓXICOS)

5.2.2.8.1.- Nitratos

Los nitratos pueden estar presentes en las aguas, bien procedentes de la disolución de las rocas que los contengan, lo que ocurre raramente, o bien por oxidación bacteriana de las materias orgánicas, principalmente de las eliminadas por los animales. En las aguas superficiales y subterráneas la concentración de nitratos tiende a aumentar hoy día como consecuencia del incremento del uso de fertilizantes y del aumento de población. (Catalán 1991)

Principio: (método electrodo de nitrato)

El electrodo de ión NO_3^- es un sensor selectivo que desarrolla un potencial a través de una membrana delgada, porosa, inerte, que se mantiene en posición

en un intercambiador iónico, en un líquido inmiscible con agua. El electrodo responde a la actividad del ión NO_3^- entre aproximadamente 10^{-5} y 10^{-1} M (0,14 a 1400 mg NO_3^- - N/l). El límite inferior de detección está determinado por la solubilidad escasa, pero finita, del cambiador iónico líquido.

Cálculo: Se lee directamente la concentración a partir de la curva de calibrado. El electrodo mide mg NO_3^- /l.

$$\text{mg NO}_3^- / \text{l} * 0,223 = \text{mg NO}_3^- - \text{N/l} \text{ (Métodos normalizados, 1991)}$$

5.2.2.8.2.- Nitritos

Los nitritos pueden estar presentes en las aguas, o bien por la oxidación del amoníaco o por la reducción, bacteriana o no, de los nitratos. En el primer caso, es casi seguro que su presencia se deba a una contaminación reciente, aunque haya desaparecido el amoníaco. De aguas que contengan nitritos se debe sospechar con respecto a su potabilidad. Aparece en un medio, cuando el potencial redox tiene un valor entre 0,40 y 0,45 voltios. (Catalan 1990).

Principio: (Método colorimétrico de Zambelli)

El ácido sulfanílico, en medio clorhídrico y en presencia del ión amonio y de fenol, forma con los iones NO_2^- un complejo coloreado, amarillo, cuya

intensidad es proporcional a la concentración de iones nitrito.

La longitud de onda en que se mide es 435 nm. El resultado leído en el espectrofotómetro, proporciona directamente la concentración de NO_2^- en mg/l contenida en la muestra.

$$\text{mg NO}_2^- / \text{l} * 0,304 = \text{mg N- NO}_2^- / \text{l}. (\text{Rodier, J. 1981}).$$

5.2.2.8.3.- Amonio:

En el amoníaco el nitrógeno actúa con valencia -3, que es el estado más bajo de reducción del mismo. Es el producto final de la reducción de las sustancias orgánicas e inorgánicas nitrogenadas, proviniendo, bien del nitrógeno atmosférico por fijación química, por putrefacción de las proteínas animales o vegetales, mediante acción bacteriana, o por reducción de los nitritos. Se encuentra en cantidades notables en un medio fuertemente reductor, siendo la forma más abundante de nitrógeno que se encuentra en las aguas dulces superficiales y en especial en las aguas residuales de origen urbano.

Principio: Método de Nessler

El reactivo de Nessler (iodo-mercuriato de potasio alcalino), en presencia de iones amonio, es descompuesto, con formación de dimercuriano, que permite

la cuantificación colorimétrica.

Reactivos:

- Solución patrón madre: Disolver 2.972 g. de cloruro amónico anhidro, secado a 100 °C en un litro de agua destilada. Esta solución contiene 1 mg de NH_4 /ml.

- Solución patrón hija: Tomar 1 ml, de la anterior y completar hasta 100 ml. Esta solución contiene 0.01 mg de NH_4 /ml.

- Reactivo de Nessler: Se colocan en un matraz de 250 ml., 2,5 g. de ioduro potásico, 3,5 g. de ioduro mercurio y alrededor de 3 ml. de agua destilada. En esta disolución concentrada de ioduro potásico, se disuelve fácilmente el ioduro mercúrico. Se añaden a continuación 100 ml de solución de potasa al 10%. Esperar 2 ó 3 días, hasta la formación de un precipitado floculento, y filtrar a continuación. Conservar en frasco topacio, bien tapado y al abrigo de la luz.

El reactivo de Nessler existe también en un preparado comercial, con dos soluciones A y B, que hay que mezclar, a partes iguales, en el momento de su uso.

Procedimientos:

Preparar una escala de tubos:

TUBO	B	I	II	III	IV	V
Sol. hija (ml)	0	1	2	3	4	5
A . DEST. (ml)	10	9	8	7	6	5
Reactivo (ml)	1	1	1	1	1	1
Equiv. mg NH ₄ / L	0	1	2	3	4	5

5.2.2.8.4.- Nitrógeno Kjeldahl

El método Kjeldahl determina el nitrógeno en estado trinegativo. No tiene en cuenta el nitrógeno en forma de azida, azina, azo, hidrazona, nitrato, nitrito, nitrilo, nitroso, oxima y semicarbazona. Si no se elimina el nitrógeno amoniacal en la fase inicial del procedimiento, el término "nitrógeno Kjeldahl" se aplica al resultado. Si se determina individualmente el nitrógeno Kjeldahl y el amoniacal, se puede obtener el "nitrógeno orgánico" por diferencia.

Principio: Método macro-kjeldahl

En presencia de H₂SO₄, sulfato potásico (K₂ SO₄) y sulfato mercúrico (HgSO₄) catalizador, el nitrógeno amino de muchos materiales orgánicos se transforma en sulfato de amonio (NH₄)₂ SO₄. El amoníaco libre y nitrógeno-amonio

también se convierte en $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$. Durante la digestión de la muestra se forma un complejo de mercurio amonio que luego se descompone por el tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$). Tras la descomposición el amoniaco se destila desde un medio alcalino y se absorbe en ácido bórico o sulfúrico. El amoniaco se determina colorimétricamente o por titulación con un ácido mineral patrón.

Cálculo:

$$\text{mg NH}_3 - \text{N/l} = \frac{(A-B) * 14 * 1000}{\text{ml muestra}}$$

donde:

A= Volumen de $\text{H}_2 \text{SO}_4$ titulado para la muestra, ml

B= Volumen de $\text{H}_2 \text{SO}_4$ titulado para el blanco, ml

N= Normalidad del $\text{H}_2 \text{SO}_4$ titulado

5.2.2.8.5.- Carbono orgánico total (COT)

Corresponde a una gran variedad de compuestos orgánicos en distintos estados de oxidación, algunos de ellos pueden ser sometidos a una oxidación posterior por procesos químicos o biológicos, la DQO y DBO pueden usarse para caracterizar dichas fracciones oxidables.

La presencia de carbono que no responda a las pruebas de DQO o DBO las hace inadecuadas para la determinación de COT. Por lo tanto dicha determinación es una expresión más conveniente y directa del contenido orgánico total aunque no proporciona la misma clase de información. Si se determina una relación empírica entre COT, DBO y DQO se podrá utilizar el COT para calcular los otros dos; pero debe establecerse de forma independiente para cada conjunto de las condiciones de la matriz (puntos de muestreo). A diferencia de la DBO y DQO el COT es independiente del estado de oxidación de la materia orgánica, y no mide otros elementos orgánicos como el nitrógeno o inorgánicas que contribuyan a un aumento del valor final.

El método utiliza calor y oxígeno, irradiación ultravioleta, oxidantes químicos o una combinación de ellos para convertir el carbono orgánico en dióxido de carbono, midiéndose éste último en un analizador infrarrojo.

5.2.2.8.6.- Fósforo

El fósforo se encuentra en las aguas naturales y residuales en forma de fosfatos, clasificados en ortofosfatos, fosfatos condensados piro y meta, otros polifosfatos, y los ligados orgánicamente. Se presentan en solución, partículas o en los cuerpos de organismos acuáticos.

Estas formas del fosfato surgen de diversas fuentes. Cantidades pequeñas

de algunos fosfatos condensados, se añaden a algunos suministros de agua durante el tratamiento, y se pueden añadir cantidades mayores de los mismos compuestos, cuando el agua se utiliza para lavar ropa u otro tipo de limpiezas, ya que son los componentes principales de muchos preparados comerciales de limpieza. Los ortofosfatos aplicados como fertilizantes, a la tierra cultivada agrícola o residencial, son arrastrados a las aguas superficiales con las lluvias y, en menor proporción, con la nieve derretida.

Los fosfatos orgánicos se forman principalmente en procesos biológicos. Son aportados al alcantarillado por los residuos corporales y de alimentos; y también, se pueden formar a partir de los ortofosfatos durante los procesos de tratamiento biológico o al recibir la carga biológica del agua.

El fósforo es esencial para el crecimiento de los organismos, y puede ser el nutriente limitador de la productividad primaria en el agua. La descarga de aguas residuales brutas o tratadas, drenados agrícolas, y ciertos residuos industriales en el agua, puede estimular el crecimiento de micro y macroorganismos acuáticos fotosintéticos en cantidades molestas.

Principio: Método colorimétrico del ácido vanadomolibdofosfórico

En una disolución diluida de ortofosfato, el molibdato amónico reacciona en condiciones ácidas para formar un heteropoliácido, llamado ácido

molibdofosfórico. En presencia de vanadio, se forma el ácido vanadomolibdofosfórico amarillo. La intensidad del color amarillo es proporcional a la concentración de fosfato.

Cálculo:

$$\text{mg PIL} = \frac{\text{mg P en 50 mL volumen final} \cdot 1000}{\text{mL muestra}}$$

Longitud de onda: 400-490 nm. (Espectrofotómetro)

5.2.2.8.7.- Métodos de análisis para metales pesados

A) Método espectrofotométrico de absorción atómica electrotérmica

Se consideran los siguientes metales pesados:

- Arsénico
- Cadmio
- Cromo
- Cobre
- Plomo
- Níquel

Una vez seleccionados los métodos adecuados dentro de una buena precisión, se ha elegido el que más parámetros nos puede determinar; la absorción atómica electrotérmica permite la valoración de la mayoría de elementos metálicos, con una sensibilidad y límites de detección de 20 a 1.000 veces superiores a los de las técnicas de llama convencionales, no obstante se ha utilizado para algún otro metal la absorción atómica de vapor frío y un método colorimétrico para el cinc. Este método no precisa extracción ni concentración de la muestra, debido a que la alta sensibilidad radica en el incremento del tiempo de permanencia de los átomos en el estado base en el trayecto óptico, llegando hasta concentraciones de hasta 1 microgramo / Litro. Se requiere igualmente un muy pequeño volumen de muestra lejos de los 10,100 y hasta 1.000 ml precisados para absorción atómica de llama. Se ha utilizado porque, aún tratándose de concentraciones, por lo general, bajo el intervalo óptimo de la absorción atómica de llama, pero en contra del método de llama, es muy laboriosa, sometido a más interferencias y requiere emplear adiciones de patrones para asegurar la validez de los datos. Hay que extremar la atención para evitar posibles contaminaciones.

Principios del método: Basado en el mismo principio de atomización directa de llama, con la diferencia de que el atomizador empleado es calentado eléctricamente o por un horno de grafito, en lugar de una cabeza de quemador estándar. La determinación se efectúa calentando la muestra en tres o más

etapas:

- 1º) Corriente de baja intensidad calienta el tubo para secar la muestra.
- 2º) A temperatura intermedia, se carboniza la materia orgánica y se volatilizan otros compuestos de la matriz.
- 3º) Una corriente de elevada intensidad calienta el tubo hasta la incandescencia, produce la atomización del elemento cuya concentración se determinará en una atmósfera inerte.

Se dan unas etapas auxiliares intermedias que limpian el tubo y lo enfrían tras el secado y la carbonización. El valor atómico elemental resultante absorbe la radiación monocromática, y la intensidad transmitida de la misma, será medida por un detector fotoeléctrico, siendo inversamente proporcional a la cantidad de átomos elementales en el trayecto óptico en un intervalo limitado.

Interferencias: Estas determinaciones están sometidas a interferencias significativas derivadas de la absorción molecular, de efectos químicos y efecto de la matriz. Cuando los componentes de la matriz en la muestra se volatilizan, durante la atomización, puede tener lugar una absorción molecular, resultando una absorción de banda ancha. Para corregirlas, existen en el mercado técnicas

de corrección del fondo como: un arco de deuterio, correctores de efecto Zeeman, correctores de efecto Smith-Hieftje; Igualmente hay unos productos químicos que actúan de modificadores de la matriz, aumentando la volatilidad de la misma. Se puede recurrir a calentamientos graduales para completar la carbonización de una forma controlada (útil para Cd y Pb).

A continuación se muestra una tabla de Modificadores de matrices potenciales para espectrometría de absorción atómica electrotrémica:

ELEMENTO	Modificadores de matriz para eliminación de interferencias	Modificadores de matriz como reforzadores
As	Mg(NO ₃) ₂ , Ni(NO ₃) ₂	
Cd	NH ₄ H ₂ PO ₄	
Cr	Mg(NO ₃) ₂	
Cu	NH ₄ NO ₃ , Ac. Ascórbico	MgSO ₄ , LaNO ₃
Pb	NH ₄ H ₂ PO ₄ , (NH ₄) ₂ HPO ₄ Mg(NO ₃) ₂ NH ₄ NO ₃ , Ac. Ascórbico, Ac. Oxálico, H ₃ PO ₄	
Ni	Mg(NO ₃) ₂ , NH ₄ H ₂ PO ₄	

A temperaturas elevadas de carbonización y atomización, se produce una interacción química entre el tubo de grafito y varios elementos, formándose así

carburos refractarios, (caso del Ba, Mo, Ni, Si,) dando picos de atomización anchos de amortiguación prolongada y baja sensibilidad; Se suele disminuir este efecto utilizando tubos con recubrimiento pirolítico.

Sensibilidad, límites de detección e intervalo óptimo de concentraciones:

En la tabla adjunta, se recogen las listas de límites de detección estimados e intervalos de concentración óptimos. Dichos valores son susceptibles de variación debido a, la forma química del elemento que se determina, la composición de la muestra y finalmente a las condiciones del instrumental.

<i>Elemento</i>	<i>Long. Onda (nm)</i>	<i>Lim. Detecc. (µg/L)</i>	<i>Margen óptimo de conc. (µg/L)</i>
As	193.7	1	5-100
Cd	228.8	0.1	0.5-10
Cr	357.9	2	5-100
Cu	324.7	1	5-100
Pb	283.3	1	5-100
Ni	232.0	1	5-100

La sensibilidad puede disminuir por dilución de la muestra, reducción del volumen de muestra, aumento de flujo de gas de purga o mediante empleo de una longitud de onda menos sensible. El argón usado como gas de purga, mejora en

general, la sensibilidad y reproducibilidad. Usando tubos de grafito con recubrimiento pirolítico, puede aumentar la sensibilidad para los elementos más refractarios.

Materiales:

- Espectrómetro de absorción atómica.
- Lámpara fuente.
- Horno de grafito.
- Lectura de salida.
- Distribuidores de muestras.
- Ventilación.
- Suministro de agua de refrigeración.
- Dispositivo de filtro de membrana.

Reactivos:

- Agua libre de metales.
- Ácido clorhídrico
- HNO_3
- Modificadores de matriz:
 - $\text{NH}_4 \text{NO}_3$ al 10%.
 - $(\text{NH}_4)_2 \text{HPO}_4$ al 40%.
 - $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, 20.000 mg Ca /l.

- Ni (NO₃)₂ , 10.000 mg Ni /l.
- H₃ PO₄ al 10% (V/V).
- Soluciones de metal de reserva.
- Resina quelante de 100 a 200 mallas y purificada.
- Agua de mar libre de metales, o salmuera.

Procedimientos:

- Pretratamiento de las muestras: Se realizarán los procedimientos de digestión, y posterior adición de peróxido de hidrógeno al 30% para las muestras que requieren análisis de arsénico. Para el resto de los metales disueltos, no se necesitarán más tratamientos previos, salvo la adición de un modificador de matriz. Para los metales recuperables totales, se podrá realizar la determinación recuperándolos, siempre que no se utilice ácido clorhídrico en la digestión y con la excepción del arsénico, al que habrá que añadir nuevamente agua oxigenada.

- Funcionamiento del instrumento: Se ha de ajustar la fuente luminosa apropiada, así como la regulación del montaje eléctrico. Una vez seleccionada la longitud de onda apropiada, realizamos una corrección de fondo, especialmente, al trabajar con longitudes de onda cortas, ó al tener la muestra elevados contenidos de sólidos disueltos. Realizar la selección apropiada del flujo de gas inerte o de protección, ya que interrumpiendo el flujo en el momento de la atomización, se puede aumentar la sensibilidad. Regulación de las condiciones

del horno de grafito teniendo en cuenta las temperaturas:

- de secado, ligeramente superiores al punto de ebullición del disolvente.
 - de carbonización, altas para volatilizar los componentes de la matriz que interfieran.
 - de atomización, seleccionar aquella que proporcione un máximo de sensibilidad sin detrimento de la precisión.

 - Calibración del instrumento: Se han de preparar patrones para calibración, elaborándolas diariamente junto con el blanco.

 - Análisis de la muestra: Se harán determinaciones directas, al menos por duplicado o hasta obtener resultados reproducibles, aproximadamente del 100%, inyectando en el horno de grafito una porción medida de muestra sometida al tratamiento previo, empleando el mismo volumen que el utilizado para preparar la curva de calibración. Proceder posteriormente a la comparación del valor medio de la absorción con la curva de calibración. También se harán determinaciones con adición de patrón cuando las muestras estén libres de interferencias de la matriz, y será válido cuando queda dentro de la porción lineal de la curva de calibración. Se realiza el análisis de la muestra con resultados reproducibles, y después se añadirá una concentración conocida del elemento que interesa a una porción separada de muestra, de manera que no cambie significativamente el
-

volumen de la muestra; después se utiliza una concentración doble se añade a una porción separada de la muestra y se mezcla, repitiéndose la determinación.

Cálculos:

a) Determinación directa: $\text{mg metal} / \text{L} = C \times F$

C= concentración de metal leída directamente en el instrumento o en la curva de calibración, en mg / L .

F= Factor de dilución.

b) Método de adiciones: $\text{mg metal} / \text{L} = C \times F$

C= concentración del metal deducida por el método del gráfico de adiciones en mg / L .

F= factor de dilución.

B) Método espectrofotométrico de absorción atómica de llama

En este método, sólo ha sido preciso determinar el *cinc* y *mercurio*, debido a los requerimientos para su determinación y sus concentraciones. Como variante, se determinan más tipos de metales mediante la aspiración directa dentro de una llama de aire-acetileno. En la determinación del mercurio se utilizará la técnica del vapor frío sin llama.

Principio: La espectrofotometría de absorción atómica se parece a la fotometría de absorción de llama, en la que una muestra es aspirada y atomizada

en una llama. La mayor diferencia estriba en que en la fotometría de llama la cantidad de luz emitida es medida, y en la espectrofotometría de absorción atómica un rayo de luz es dirigido a través de la llama desde un monocromador, llega a un detector y éste, mide la cantidad de luz absorbida por el elemento atomizado en la llama. El método de absorción atómica es, en muchos casos, de mayor sensibilidad. La cantidad de energía absorbida, por la llama en la longitud de onda caracterizada, es proporcional a la concentración del elemento en la muestra.

Interferencias: Serán las sustancias calentadas y las resultadas de la carencia de absorción por los átomos acomplejados en la llama. Esto ocurre, cuando la llama no contiene la suficiente energía como para disociar las moléculas, o bien, cuando el átomo disociado es rápidamente oxidado a un compuesto que no se disociará más adelante a la temperatura de la llama. La interferencia del fosfato y magnesio se puede eliminar añadiendo Lantano.

Preparación de patrones: Se prepararon soluciones patrones con concentraciones conocidas del metal en agua, con una matriz similar a la de la muestra. Las concentraciones madre serán altas, y a diario se prepararán las disoluciones refrigerándolas inmediatamente para su almacenamiento. Si las muestras contienen una cantidad variable de materiales en la matriz, debemos determinar la mayoría de los iones en la muestra y en el patrón similar. Si la

matriz de la muestra fuera compleja, y sus componentes no pudieran ser iguales en el patrón, se usa el método de adiciones estándar para corregir los efectos de la matriz.

Se asegurará que la curva de calibración sea lineal en el rango de concentración de interés, y no haya absorción no atómica. Esto se hará preparando distintas porciones de solución problema añadidas a diferentes cantidades de analito, asegurándonos de que el volumen total de todas las soluciones es idéntico. Se prepara una solución con el blanco de matriz similar, y se mide la respuesta con cada muestra. Haciendo un gráfico para la curva de calibración, y extrapolándose a adición cero obtenemos la concentración en la muestra.

Sensibilidad: La sensibilidad de la absorción atómica de llama espectrofotométrica es definida como, la concentración de metal que produce una absorción del 1% (es decir una absorción de aprox. 0,0044). Los rangos de concentración son expuestos a continuación:

<i>Elemento</i>	<i>Long. de onda (nm)</i>	<i>Gases de llama</i>	<i>Lím. de Detecc. (mg/L)</i>	<i>Sensibili. (mg/L)</i>	<i>Rango óptimo de con(mg/L)</i>
Hg	253.6	aire-C ₂ H ₂	0.2	7.5	10-300
Zn	213.9	aire-C ₂ H ₂	0.005	0.02	0.05-2

Aparataje:

- Espectrofotómetro de absorción atómica.
- Lámparas, usándose una distinta para cada elemento a medir.
- Válvulas reductoras de presión.
- Punto de descarga de vapores y gases.
- Registrador de señales y picos.

C) Método de la ditizona para la determinación del mercurio

Principio:

La intensidad del color naranja formado tras la reacción entre los iones mercurio con una solución de ditizona en cloroformo, es susceptible de ser medido mediante un espectrofotómetro, y extrapolar su valor a la concentración correspondiente mediante una curva estándar.

Interferencias:

En solución ácida el cobre, oro, paladio, platino divalente y plata, reaccionan con la ditizona, pero salvo el cobre, el resto de los componentes no suelen estar presentes y éste, quedará en la fase orgánica del extracto con ditizona mientras que el mercurio se disolverá en la fase acuosa. Debe medirse a la mayor brevedad posible el ditizonato de mercurio debido a su gran sensibilidad a la luz.

5.2.2.9.- DENSIDAD APARENTE, POROSIDAD Y GRANULOMETRÍA

A) Densidad aparente:

La densidad de volumen o densidad aparente es la masa de suelo por unidad de volumen. Cuando se trata de suelos relativamente libres de piedras y gravas, es posible presionar dentro del suelo un tubo de paredes delgadas y un extremo afilado. Secando las muestras a 105°C hasta pesada constante, se determinarán la densidad de volumen, que es la masa de suelo contenido en el tubo dividida por el volumen de dicho tubo. Procederemos según el método descrito a continuación.

- Equipo:

- Balanza
- Estufa de desecación
- Botes para humedad
- Barrena de muestreo.

Nota.- No compactar el suelo en el muestreo y hacerlo en una superficie plana (horizontal o vertical).

- Cálculos:

$$d_a = P / V$$

P = peso de la muestra tras su estufado.

V = volumen de la muestra en el campo.

B) Porosidad: (n)

Se define como la fracción del volumen del suelo no ocupada por las partículas del mismo. Se puede obtener directamente a partir de las determinaciones hechas con un picnómetro de aire, aunque también se puede obtener a través de la siguiente relación:

$$n = (d_p - d_b) / d_p,$$

en la que d_p es la densidad media de las partículas del material y d_b es la densidad aparente.

C) Granulometria:

En este apartado, se describe el método para determinar el tanto por ciento de partículas de material que pasa por los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta el de 0,08 mm (A.S.T.M. n° 200). Si interesase conocer la distribución de tamaños en las partículas inferiores a la abertura de dicho tamiz,

habrá que completar este ensayo con el método por sedimentación.

Material:

- Tamices de malla cuadrada y tejido de alambre, deberá de cumplir la norma UNE 7050.
- Balanza de 10 Kg de capacidad y sensibilidad de 1 g, y otra de 200 g de capacidad con sensibilidad de 0,01 g.
- Aparato agitador con hélice y vaso de agitación.
- Estufa de desecación regulable a 105°C.
- Mortero y mano inferior de goma, para desmenuzar terrones compuestos por partículas del lecho.
- Agua destilada y solución de hexametafosfato sódico al 4%.

Procedimiento: De la muestra original separar la fracción necesaria, siguiendo la norma NLT - 10 - / 72, secarla al aire y pesar.

- Fracción gruesa: Cribar por tamiz de 2 mm (ASTM nº 10), y lavar todo el material grueso retenido en el tamiz; secar en estufa. Tamizar el material retenido, lavado y secado por los tamices de las series superiores a 2 mm, y pesar lo retenido en cada tamiz.
- Humedad higroscópica: Separar por cuarteo unos 120 g de la fracción

que atraviesa el tamiz de 2 mm. Se pesan unos 20 g del cuarteado anterior, secar en estufa y pesar.

- Fracción fina: Pesar con exactitud unos 100 g del material. Colocado en un vaso de precipitado de 600 cm³ y añadir lentamente mientras se agita 125 cm³ de solución de hexametáfosfato sódico al 4%. Dejar en reposo 18 horas y añadir agua destilada hasta 5 cm del borde del vaso, agitar la suspensión en el agitador durante 1 minuto y lavar el contenido del agitador sobre el tamiz de 0,080 mm, UNE nº 200, hasta que pase agua limpia. Trasvasar lo retenido a una cápsula, con ayuda de un chorro de agua y evitando la pérdida de partículas. Secar lo retenido a 105°C y tamizar por los tamices de malla inferior a 2 mm. Pesar lo retenido en cada tamiz.

- Resultados: Según la tabla adjunta, en las columnas 1 y 2 aparecen la designación de los tamices y abertura de la malla, en la columna 3 se reflejan los gramos de la parte fina ensayada. Columna nº 4: gramos obtenidos directamente del ensayo hasta el tamiz nº 10. Columna nº 5: se restan de los gramos que pasan por el tamiz anterior los gramos retenidos en el que se calcula. Columna nº 6: expresan los datos de la columna nº 5 en forma de tanto por ciento respecto al peso de la muestra seca total.

TAMICES			RETENIDO ENTRE TAMICES		PESO EN MUESTRA TOTAL		Descripción del suelo y observaciones
U.N.E	A.S.T.M.		Gramos en parte fina ensayada	Gramos en muestra total	Gramos	%	
	Designación	Abertura					
1	2A	28	3	4	5	6	
63	2 1/2"	63.5					
50	2"	50.8					
40	1 1/2"	38.1					
25	1"	25.4					
20	3/4"	19.1					
12.5	1/2"	12.7					
10	3/5"	9.5					
6.3	1/4"	6.3					
5	Nº4	4.76					
2	Nº10	2.00					
	Nº...						
	Nº...						

CALCULOS PREVIOS

A = Peso de muestra total seca al aire

B = Peso de fracción gruesa lavada y seca

C = (A-B) f ; Fracción fina y seca

D = B+C ; Muestra total seca

E = fracción fina ensayada seca al aire

F = E x f ; fracción fina ensayada

HUMEDAD HIGROSCOPICA
$f = 100 / (100 + h)$; factor de corrección por humedad higroscópica
$h = (a / s) . 100$; humedad higroscópica (%)
$a = \text{agua}$
$t = \text{tara}$
$s = \text{suelo}$
$c / F = \text{relación entre fracción fina seca y fracción ensayada seca.}$

5.2.2.10.- PERMEABILIDAD

Se refiere en este caso a la drenabilidad en laboratorio de materiales granulares, según la norma del CEDEX NLT - 306/87. Aquí se describe el procedimiento que debe seguirse para determinarse la drenabilidad de un material granular sin conglomerante. El campo de aplicación de esta norma es para tiempos de drenaje comprendidos entre 60 y 600 segundos.

Materiales y aparatos:

- Molde metálico cilíndrico de 152,4 mm de diámetro interior y 177,8 mm de altura, provisto de un collar supletorio de 51 mm de altura.
- Disco espaciador circular de metal de 151 mm de diámetro y 50,8 mm de espesor.
- Mazas de compactación.

- Balanza de 20 Kg y otra de 1.000 g con errores inferiores a 2 g y 0,1 g respectivamente.
- Tamices serie UNE.
- Cronómetro, recipiente graduado, soporte con rejilla y embudo.

Procedimiento:

Para la preparación de la muestra, se coloca en el molde la muestra que se vibrará y compactará, con la maza de compactación descritas en las normas de ensayo NLT - 107 y 108. Se coloca la probeta sobre el soporte, de manera que quede en la parte superior el hueco que origina el disco espaciador.

Se introducen 900 cm³ de agua en el hueco que produce el disco espaciador; el vertido de agua en la parte superior de la probeta se toma como tiempo cero. El agua se recoge en un recipiente graduado, haciendo lecturas cada 100 cm³ recogidos. Se determina el valor T en segundos, como diferencia entre las lecturas de tiempos correspondientes a 700 cm³ y 200 cm³. $T = t_{700} - t_{200}$

Si a los 10 minutos del vertido del agua en la probeta, no se ha iniciado la caída de la misma en el recipiente, concluirá el ensayo, dando por resultado material no drenante con tiempo de drenaje $T > 600$ seg.

Resultado:

En cada probeta se repite la determinación hasta que dos valores de T sucesivos se diferencien en menos de 3 segundos, con un máximo de 10 determinaciones. Se toma como resultado del ensayo el último valor obtenido. Los resultados se expresarán como:

- $T < 60s$: drenante.
- $60s < T < 600s$: poco drenante.
- $T > 600s$: no drenante.

Para definir el valor T del material se ensayan tres probetas y se adopta como resultado el menor de los tres.

5.2.3.- Parámetros microbiológicos:

La siguiente descripción se centrará en los indicadores de contaminación fecal u orgánica más comúnmente determinados de manera rutinaria en E.D.A.R. medianas y, sobre todo, en plantas experimentales. En realidad, estos parámetros son de vital importancia en el ámbito de las aguas potables.

5.2.3.1.- COLIFORMES TOTALES

El grupo coliforme está constituido por todas las bacterias aerobias y anaerobias facultativas. Gram negativas no formadoras de esporas y con forma

de bastón que fermentan la lactosa produciendo gas y ácido en 48 horas a 35 °C.

Nos hemos centrado en la técnica del filtro de membrana, pues posee la ventaja de permitir analizar grandes volúmenes de muestra y proporciona resultados numéricos rápidamente. Con interferencias en aguas muy turbias, no es éste nuestro caso, pues como las concentraciones de microorganismos en el agua residual son tan elevadas en los influentes y algo menores en los efluentes, se procede a hacer diluciones de:

- 1/106 a 1/107 en aguas brutas.
- 1/104 a 1/106 en aguas depuradas.

Así Queda totalmente eliminada la posibilidad de interferencias por gran cantidad de turbidez y/o sólidos suspendidos. Se desarrollan colonias rojas con brillo metálico en medios ENDO con lactosa tras 24 horas a 37 °C. Se utilizan filtros estériles de 0,45 micras de tamaño de poro. Además, se utiliza un equipo de filtración en material esterilizable compuesto de vaso, embudo, matraz Kitasato, pinzas de presión y bomba de vacío hasta - 700 mm Hg.

El volumen a filtrar es aquel que permita obtener entre 20 y 80 colonias por filtro como máximo; en el caso de agua residual, se filtrará siempre en dilución 100 ml. Sobre la placa porosa del embudo se coloca el filtro estéril con pinzas

estéres, que a su vez estará colocado sobre un kitasato. Se le coloca el vaso y se aprieta el filtro entre el embudo y el vaso con las pinzas, se añade la muestra y se conecta la bomba de vacío. Una vez filtrada la muestra se colocará el filtro sobre una placa estéril conteniendo el medio de cultivo de ENDO. Incubándose a 37°C durante 24 h. Las colonias se verán de color rojo con el típico brillo metálico.

El recuento se expresa como número de colonias por 100 ml.

5.2.3.2.- COLIFORMES FECALES

Es un grupo incluido en los coliformes y son aquéllos que se encuentran en las heces de algunos animales de sangre caliente, dando por tanto información de la existencia o no de contaminación fecal.

Se utilizó el método de filtro de membrana, que es el mismo indicado para coliformes totales. Tras la filtración se coloca el filtro sobre el medio de ENDO y se lleva a incubar a 44,5°C durante 24 h, apareciendo en el caso de coliformes fecales, colonias rojas metálicas. El recuento se expresa como número de colonias por 100 ml.

5.3.- CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES DE RELLENO UTILIZADOS

Los materiales que constituyeron el relleno soporte de la biopelícula en la Investigación, fueron los siguientes:

- ✓ Relleno cerámico
- ✓ Relleno plástico
- ✓ Arena silícea

Se remite al anejo correspondiente al "Reportaje fotográfico", para observar una impresión visual de los materiales descritos seguidamente.

1ª Relleno cerámico

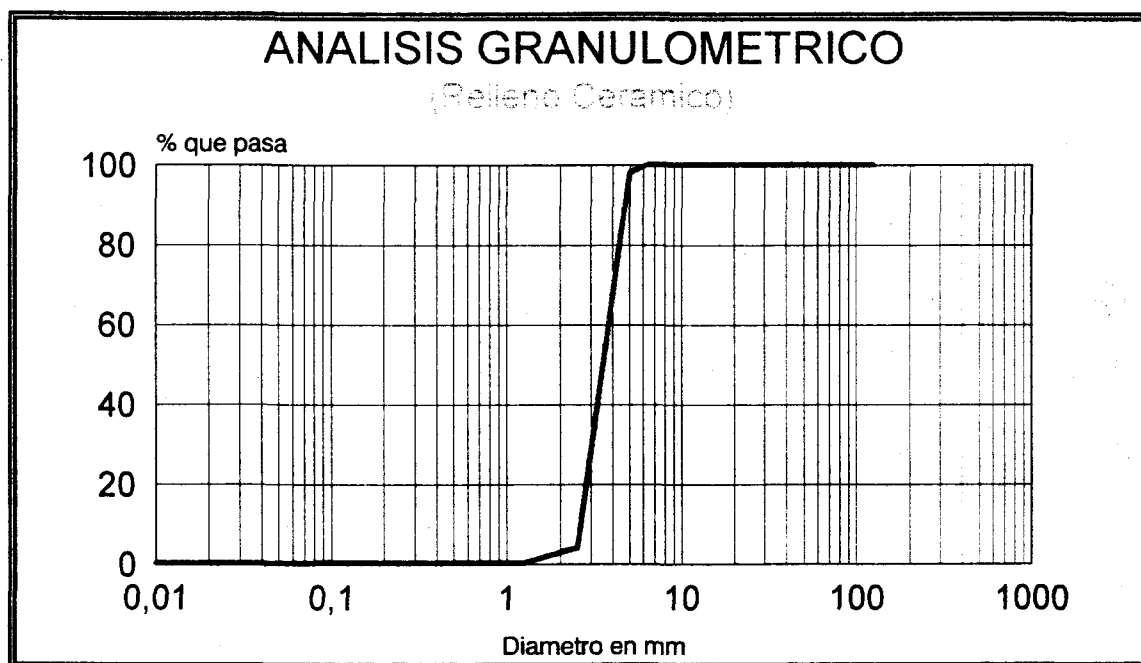
Este relleno procede de la fase de machaqueo del reciclado de una industria cerámica, *Cerámicas Siles*, una fábrica de materiales de construcción de tipo cerámico, sita en Jun (una localidad de la provincia granadina). En el siguiente cuadro, se recogen sus características principales:

Cuadro 5.1.- Características del material del relleno cerámico

<i>Propiedad</i>	<i>Valor</i>
<i>Densidad relativa aparente</i>	1,78 (gr./cm ³)
<i>Densidad relativa aparente (Superficie seca saturada)</i>	1,96 (gr./cm ³)

Propiedad	Valor
Densidad relativa real	2,18 (gr./cm ³)
Densidad saturada	2,37 (gr./cm ³)
Absorción	10,16 (%)
Tamaño	de 2 a 5 (mm)
Permeabilidad	0,666 (cm/seg)
Peso específico (método del picnómetro)	2,11 (gr./cm ³)

A continuación se adjunta la curva granulométrica obtenida para este material:



2.9 Relleno plástico

El relleno plástico lo componen unas "lentejas" (la similitud de su forma y tamaño con éstas es extraordinaria), compuestas de polietileno. Proceden del reciclado de plásticos de invernadero, y fueron proporcionadas por la *Empresa de Gestión Medioambiental (EGMASA)*. Esta empresa posee dos fábricas de reciclado de plásticos, una sita en Los Palacios (localidad de la provincia de Sevilla) , y otra se localiza en El Ejido (provincia de Almería). Concretamente, las utilizadas en esta Investigación fueron cedidas de la fábrica de Los Palacios, dada su superior calidad. En el siguiente cuadro, se recogen sus características principales:

Cuadro 5.2.- Características del material de relleno plástico

<i>Propiedad</i>	<i>Valor</i>
<i>Densidad relativa aparente</i>	0,92 (gr./cm ³)
<i>Densidad relativa aparente (Superficie seca saturada)</i>	0,92 (gr./cm ³)
<i>Densidad relativa real</i>	0,92 (gr./cm ³)
<i>Absorción</i>	0,00 (%)
<i>Tamaño</i>	uniforme: 5 (mm)
<i>Permeabilidad</i>	5,04 (cm/seg)
<i>Peso específico (método del picnómetro)</i>	0,92 (gr./cm ³)

En este caso no se adjunta la curva granulométrica, pues se obtuvo un paso del 0,83 % del material por el tamiz de 2,50 mm de abertura, y del 99,46 % por el tamiz 5,00 UNE. Esto denota la uniformidad de este material y, por este motivo, deja de tener sentido la curva en cuestión, ya que no existen tamices normalizados entre los 2,50 y 5,00 mm de diámetro de abertura, lo cual no significa que exista una graduación homogénea en este tramo, como así podría inferirse del examen de su curva granulométrica.

3.9 Arena silícea

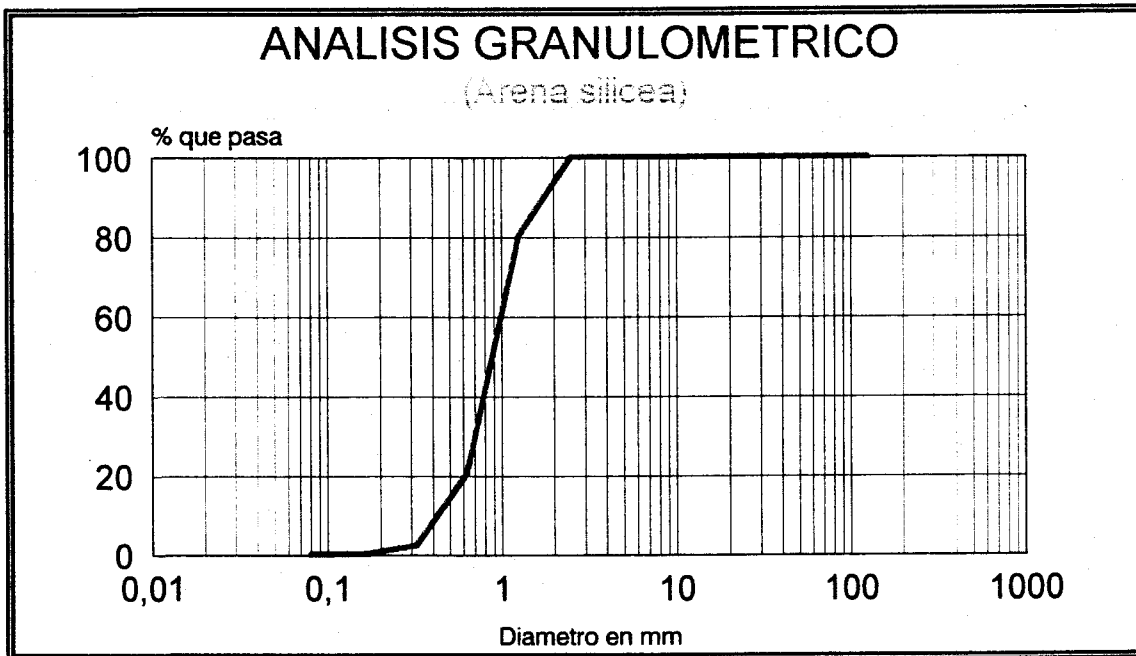
La arena silícea utilizada para esta Investigación es similar a la que se usa en las estaciones de tratamiento de aguas potables, en la fase de filtración. De hecho, la empleada para el relleno de la planta piloto del presente trabajo, fue facilitada por la *Empresa Municipal de Aguas y Saneamiento de Granada (EMASAGRA, S.A.)*, de su E.T.A.P. de Lancha de Cenes. En el siguiente cuadro, se recogen sus características principales:

Cuadro 5.3.- Características del material de relleno del Filtro de Arena

Propiedad	Valor
<i>Densidad relativa aparente</i>	2,62 (gr./cm ³)
<i>Densidad relativa aparente (Superficie seca saturada)</i>	2,63 (gr./cm ³)
<i>Densidad relativa real</i>	2,65 (gr./cm ³)
<i>Absorción</i>	0,39 (%)
<i>Tamaño</i>	de 0,3 a 2,5 (mm)

Propiedad	Valor
Superficie específica	881,24 (m ² /m ³)
Permeabilidad	0,304 (cm/seg)
Peso específico (método del picnómetro)	2,63 (gr./cm ³)

A continuación se adjunta la curva granulométrica obtenida para este material:



5.4.- MEDIDA DEL CAUDAL DE AIRE: CALIBRACIÓN DE LOS APARATOS DE MEDICIÓN

5.4.1.- Distintas alternativas planteadas

Se plantearon varias opciones para conocer un aspecto tan fundamental en la depuración de aguas, como es la cantidad de oxígeno que se suministra al sistema. Sin duda, resulta determinante en la economía de una estación la potencia necesaria de instalación, así como los costes derivados de la explotación, dentro del capítulo de gasto energético.

Se desestimó la posibilidad de calcular el caudal de aire insuflado mediante la relación $P*V = n*R*T$. Conocida la temperatura (T), la constante R, la presión de trabajo del equipo compresor (P) y el volumen del mismo, podría despejarse de la fórmula anterior, el número de moles de aire (n) suministrados.

Sin embargo, la existencia de distintas válvulas tras la salida del compresor y la impresión de tratarse de un método excesivamente teórico y sujeto a muchos factores que podían introducir error en la operación de cálculo de caudal de aire, propició la elección de otro sistema de medida.

También se desechó la opción de instalar un *manómetro*, en el que la altura de columna de mercurio desplazada por un caudal de aire, informase

precisamente de su valor.

Se barajó también la alternativa de fabricar un *mixtolímetro*. Este sistema consiste en una perilla anexionada a un tubo, por lo general, de vidrio, rellena de un líquido y al que se añade jabón, pues suele tratarse de agua. Al paso del aire a través de la perilla, éste provoca la ascensión de una burbuja. El operador mide el tiempo transcurrido entre el paso de dicha burbuja por dos marcas conocidas. Dado que la sección del tubo es conocida, de este modo, se calcula un volumen, que junto a un tiempo, proporcionan un caudal.

Sin embargo, un caudal de aire habitual en los lavados, según se deduce del estudio bibliográfico, es $70 \text{ m}^3 / \text{h} / \text{m}^2$. Los cálculos arrojan los siguientes valores, en este caso:

- ✓ Diámetro de la columna de relleno = 29 cms.
- ✓ Sección de paso de la columna = 660 cm^2 .
- ✓ Caudal de aire de lavado = 77 litros / minuto.

Se considera que el tiempo de medida debe estar en torno a un minuto, por razón de que el error introducido por un operador cronometrando, que puede ser del orden de 1 segundo, sea despreciable. Si limitamos la longitud máxima del tubo a 2 metros, tenemos para un volumen de 77 litros:

✓ Diámetro necesario del tubo del mixtolímetro = 22 cms.

En definitiva, se precisaba un tubo de 22 centímetros de diámetro y 2 metros de longitud. A todas luces, no resultaba operativo para medidas manuales y, por añadidura, colocado en un lugar peligroso para un material de laboratorio de vidrio. Sin contar con la dificultad de encontrar mano de obra cualificada para, por encargo, fabricar este tubo de tamaño tan enorme e inusual en los talleres y proveedores habituales de laboratorios químicos.

Visto lo anterior, se decidió utilizar un *rotámetro*, cuyas características y calibración, se describen a continuación.

5.4.2.- Características de los rotámetros utilizados

Los rotámetros, de los que se ha hecho uso para esta investigación, son medidores de caudal del tipo de área variable, que pueden utilizarse tanto para gases como para líquidos.

La altura alcanzada por un flotador dentro de un tubo cónico de medida, es proporcional al caudal del fluido medido. Se colocó de tal manera que cumpliera con las normas básicas que favorecen una medida más exacta en el caso de tratarse de gases: tubería de entrada al medidor de tamaño mínimo posible, emplazamiento lo más cercano posible a una restricción, y con la válvula

para graduar el caudal colocada en posición lo más inmediata posible al adaptador de salida.

El rotámetro se instaló en posición vertical.

5.4.3.- Calibración de los rotámetros medidores del caudal de aire

Los rotámetros utilizados en las plantas piloto disponen de una escala de 100 unidades. Antes de iniciar su uso, y dada la importancia de la exacta medida del caudal de aire suministrado, se procedió a su calibración. Para ello, se contrastó la paridad entre las unidades del rotámetro en cuestión y el caudal de aire normalizado (a 20°C y 1 atm de presión), que son las unidades representadas en un caudalímetro de uso en otros estudios de esta Cátedra y de fiabilidad contrastada.

El proceso que seguidamente se detalla fue común tanto para los rotámetros medidores de caudal de aire de proceso, como para los medidores de caudal de aire del lavado, pero sólo se transcribe el correspondiente a los primeros, por repetitivo. La única variación presentada por los segundos, es su mayor diámetro y, por tanto, el orden de valores de los caudales con los que se trabaja. Al final de este apartado, se presenta el resultado final obtenido para el rotámetro de medida de caudal de aire de lavado, obviando, como acaba de

explicarse, el proceso que a ahora se detalla para el rotámetro de medida del caudal de aire de proceso.

Las siguientes son las rectas de ajuste obtenidas (se elaboraron dos; una para P=1 bar de presión de trabajo y otra para P=2 bar):

Cuadro 5.4.- Parejas de valores de la curva de ajuste del rotámetro medidor de caudal de aire de proceso para P=1 bar

Uds. del caudalímetro	Caudal de aire (Nm ³ /h)
34	1,5
45	2
54	2,25
64	3
72	3,5
81	4
90	4,5
99	5

**Cuadro 5.5.- Parejas de valores de la curva de ajuste del rotámetro
medidor de caudal de aire de proceso para P=2 bar**

Uds. del caudalímetro	Caudal de aire (Nm ³ /h)
34	1,5
45	2
53	2,5
66	3
71	3,5
80	4
93,5	4,5
Fuera de escala	5

Para cada una de estas gráficas, se obtienen las siguientes rectas:

1.- P=1 bar

$$Q_{\text{aire}} \text{ (Nm}^3\text{/h)} = -0,425 + 5,45 \cdot 10^{-2} \cdot X$$

X = uds. del caudalímetro

$$r = 0,999$$

2.- P=2 bar

$$Q_{\text{aire}} (\text{Nm}^3/\text{h}) = -0,294 + 5,21 \cdot 10^{-2} \cdot X$$

X = uds. del caudalímetro

$$r = 0,996$$

Ahora se comprueba el caudal de aire que les corresponde a dos escalones de valores, correspondientes a dos caudales de aire inmersos en un rango de uso razonablemente habitual en aireación de proceso, como pueden ser 10 y 30 Uds. del rotámetro:

A) $Q_1 = 30$ Uds. del caudalímetro

Por las ecuaciones de las rectas anteriores, obtenemos dos caudales distintos:

$$Q_{11} = 1,21 \text{ Nm}^3/\text{h} \text{ y } Q_{12} = 1,269 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

B) $Q_2 = 10$ Uds. del caudalímetro

Por las ecuaciones de las rectas anteriores, obtenemos dos caudales distintos:

$$Q_{21} = 0,12 \text{ Nm}^3/\text{h} \text{ y } Q_{22} = 0,227 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

Como puede apreciarse, en el caso de caudales elevados de aire (30 Uds. del caudalímetro), la diferencia entre las ecuaciones de las dos rectas es escasa.

Anteriormente se trabajó con una regresión lineal de los datos de calibración del rotámetro. Se observó un buen ajuste para caudales elevados, pero algo más deficiente para caudales inferiores (10 Uds. Del rotámetro). Por tanto, esto indujo a probar otros tipos de ajuste:

1.- P = 1 bar

1.a) Ajuste exponencial:

$$Q_{\text{aire}} \text{ (Nm}^3\text{/h)} = 0,88075 * 1,0185^x$$

X = uds. del caudalímetro

$$r = 0,989$$

1.b) Ajuste logarítmico:

$$Q_{\text{aire}} \text{ (Nm}^3\text{/h)} = - 10,487 + 3,3055 * \text{Ln} (x)$$

X = uds. del caudalímetro

$$r = 0,983$$

1.c) Ajuste potencial:

$$Q_{\text{aire}} (\text{Nm}^3/\text{h}) = 2,6462 * 10^{-2} * X^{1,1406}$$

X = uds. del caudalímetro

$$r = 0,9996$$

2.- P = 2 bar

2.a) Ajuste exponencial:

$$Q_{\text{aire}} (\text{Nm}^3/\text{h}) = 0,8648 * 1,0188^X$$

X = uds. del caudalímetro

$$r = 0,984$$

2.b) Ajuste logarítmico:

$$Q_{\text{aire}} (\text{Nm}^3/\text{h}) = - 9,4332 + 3,0351 * \text{Ln} (x)$$

X = uds. del caudalímetro

$$r = 0,985$$

2.c) Ajuste potencial:

$$Q_{\text{aire}} (\text{Nm}^3/\text{h}) = 2,9285 * 10^{-2} * X^{1,1149}$$

X = uds. del caudalímetro

$$r = 0,997$$

Como puede observarse, el ajuste potencial en ambos casos presenta, incluso, mejor coeficiente de correlación que el ajuste lineal. Si a ésto añadimos que es más racional en el sentido de que no presenta valores negativos para ningún valor positivo de x , concluimos que debe ser preferencial la elección del ajuste potencial. Además, veremos que estas curvas (las de $P = 1$ y 2 bar) difieren menos entre sí en los valores para $X = 10$ y 30 Uds. que las del ajuste lineal:

A) $Q_1=30$ Uds. del caudalímetro

Por las ecuaciones de las curvas de ajuste potencial anteriores, se obtienen dos caudales distintos:

$$Q_{11} = 1,28 \text{ Nm}^3/\text{h} \text{ y } Q_{12} = 1,298 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

B) $Q_2=10$ Uds. del caudalímetro

Por las ecuaciones de las curvas de ajuste potencial anteriores, se obtienen dos caudales distintos:

$$Q_{21} = 0,365 \text{ Nm}^3/\text{h} \text{ y } Q_{22} = 0,381 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

En efecto, ahora cada pareja de estos valores se parecen más, aunque, como era de esperar, para valores pequeños de la variable X , la curva

exponencial presenta un cierto desplazamiento positivo en la dirección del eje y respecto a las otras y, por tanto, valores ligeramente superiores.

Todo lo anterior, se resume en las gráficas que se acompañan a continuación:

Fig. 5.1.- Distintas curvas de ajuste en los rotámetros medidores del caudal de aire de proceso, para obtener éste en función de las unidades del rotámetro (P = 1 bar)

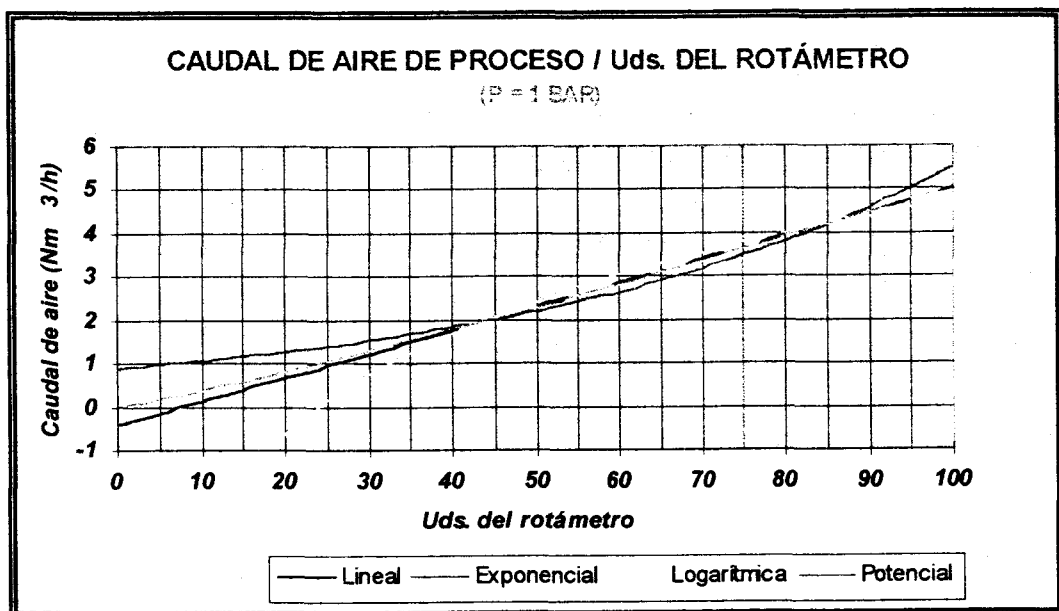
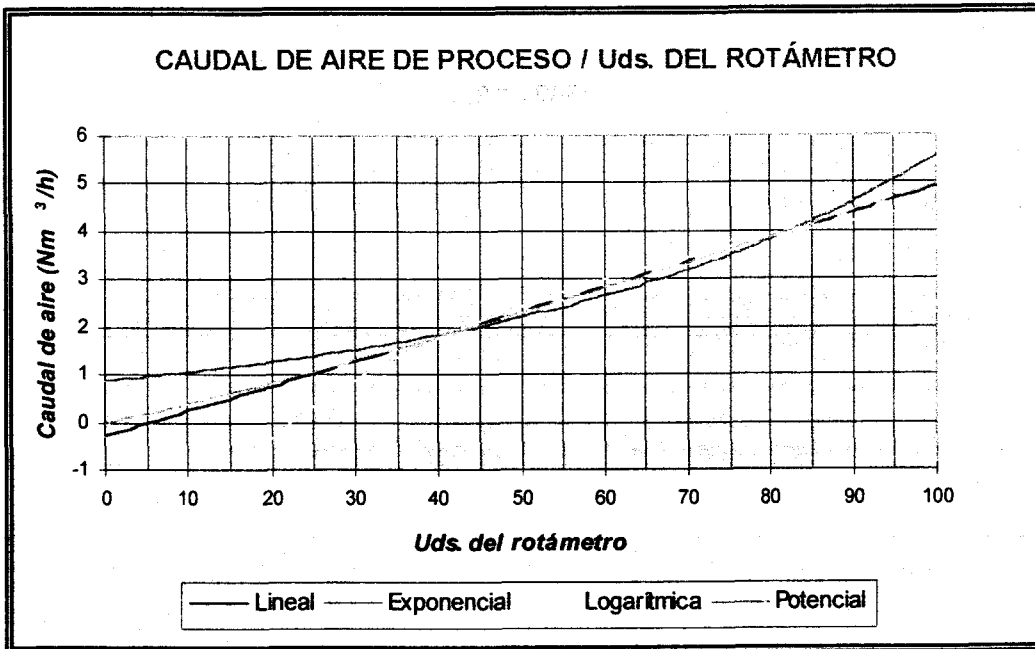
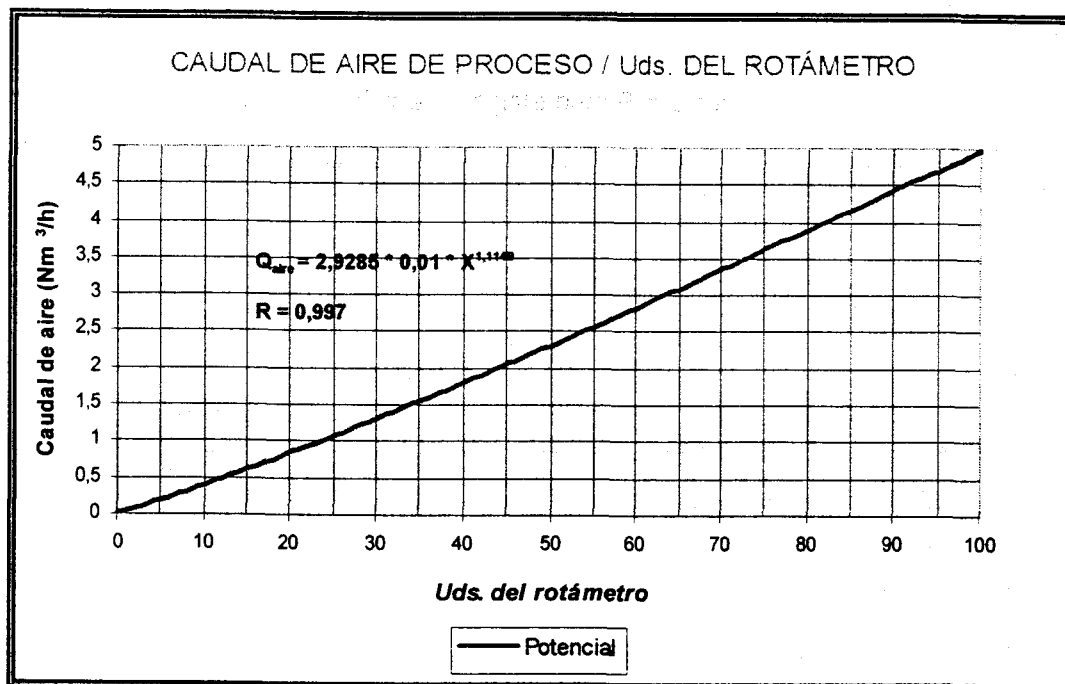


Fig. 5.2.- Distintas curvas de ajuste en los rotámetros medidores del caudal de aire de proceso, para obtener éste en función de las unidades del rotámetro (P = 2 bar)



De las dos anteriores gráficas, se extrae la definitiva que se ha utilizado durante toda la investigación para obtener los caudales suministrados, en función de la lectura directa de la posición que ocupaba en cada momento el flotador del rotámetro en la escala de unidades que éste incorpora. Lógicamente, la siguiente gráfica, en consecuencia de toda la explicación anterior, será la curva de ajuste potencial y correspondiente a P = 2 bar (posteriormente se justifica esta presión de trabajo):

Fig. 5.3.- Curva de ajuste utilizada en los rotámetros medidores del caudal de aire de proceso, para obtener éste en función de las unidades del rotámetro



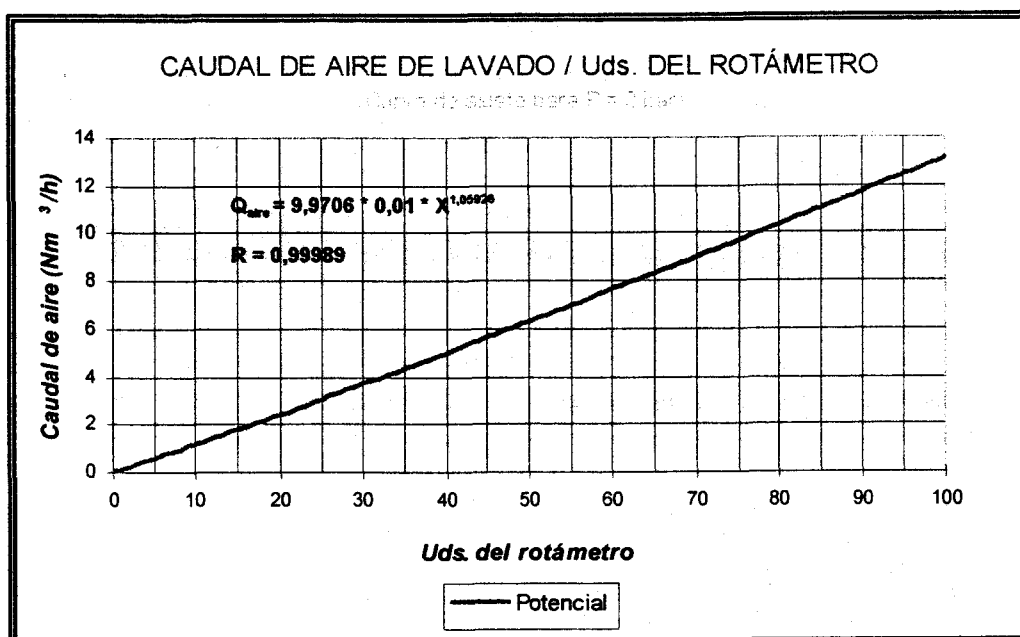
A continuación, se acompaña idéntica gráfica a la precedente, pero en este caso, para los rotámetros de medida de caudal de aire de lavado, junto a la tabla de datos que genera el ajuste:

Cuadro 5.6.- Parejas de valores de la curva de ajuste del rotámetro medidor de caudal de aire de lavado para P=2 bar

Uds. del caudalímetro	Caudal de aire (Nm ³ /h)
17	2
21	2,5

25	3
28,5	3,5
32,5	4
36,5	4,5
40	5
44	5,5
48	6
52	6,5

Fig. 5.4.- Curva de ajuste utilizada en los rotámetros medidores del caudal de aire de lavado, para obtener éste en función de las unidades del rotámetro



5.4.4.- Unidades de medida del caudal de aire

1 Nm³/h es un metro cúbico normalizado de aire por hora, lo que quiere decir que se mide a 1 atm y 20°C. Para convertirlo a condiciones reales de trabajo, hay que considerar la temperatura de operación y la presión de trabajo de los equipos, con lo que este factor, que el proyectista de una estación depuradora puede decidir con antelación, juega un rol importante en la economía de la planta.

Aunque para el caso de aplicación a una planta a escala real puede resultar excesiva, en la planta piloto utilizada en esta investigación, se decidió suministrar el aire a una presión P = 2 bar, pues, de este modo, la marcha del compresor ganaba fiabilidad y constancia, reduciéndose el carácter pulsatorio de su funcionamiento.

Por tanto, se ha introducido el aire a 2 bar, lo que supone que un mismo volumen de aire pesa casi el doble (2 bar equivalen a 1,974 atm), en base a la siguiente formulación (según las leyes de compresibilidad y dilatación del aire), que proporciona el peso de éste:

$$\sqrt{m_{\text{aire}} \text{ (gr.)} = 1,293 * V(\text{litros}) * H(\text{cms. Hg})/76 / (1+\alpha*t(^{\circ}\text{C})),}$$

$$\text{donde } \alpha = 1/273$$

Luego, en las condiciones de trabajo de este estudio, el aire pesa 2,378 gr/l. Siendo que el aire contiene el 23,2 % de O₂ en peso, tenemos que se introducen 0,5517 gr. O₂ / l. aire.

De todo lo anterior, se infieren las distintas unidades de medida de la cantidad de oxígeno suministrada o volumen de aire insuflado, que se han barajado a lo largo de toda esta investigación:

✓ m³ / h (de aire)

✓ Nm³ / h (de aire)

✓ Nm³ / m² / h (de aire) *

✓ Kg. O₂ / h

✓ Kg. O₂ / Kg. DBO_{5,elimin.}

✓ Kg. O₂ / litro de agua

* en el divisor figura la sección de paso de las columnas de relleno.

6.1.- DESCRIPCIÓN Y PUESTA A PUNTO DE LA PLANTA PILOTO

La planta piloto, con la que se operó durante la Investigación de Choque, se ubicó en la E.D. Churriana SUR, cuya propiedad ostenta EMASAGRA, S. A. (Empresa Municipal de Aguas y Saneamiento de Granada, Sociedad Anónima).

El filtro experimental se instaló en la zona del pretratamiento de dicha E.D., y más concretamente en la nave de desbaste. Pese a tratarse de la zona con mayor producción de olores y una de las que provoca más ruidos notables y continuados, se pensó como la idónea en función de los espacios disponibles, su proximidad a etapas iniciales de la depuración y, sobre todo, a encontrarse en recinto cubierto.

De este modo, se facilitaba la toma de aguas brutas y decantadas, aptas

para las investigaciones que se proponía llevar a cabo. La planta piloto posee una columna o vaso de metacrilato transparente y la mesa en la que apoya es de material metálico. El diámetro interior de la columna es de 30 centímetros y su altura total asciende a 3,70 metros, que se alcanza mediante tres tramos unidos entre sí por juntas tóricas atornilladas. La longitud de cada uno de los tres tramos es de 1 metro para los dos inferiores y 1,70 metros para el superior.

La *alimentación de agua bruta* tuvo lugar desde los decantadores primarios de la E.D., y conducida a través de una tubería de PVC, mediante una bomba centrífuga, hasta la planta piloto, disponiéndose de un contador previo a la misma. La regulación del caudal requerido se realiza manualmente, calibrando siempre éste en función de las lecturas que se obtienen en el contador.

La *alimentación de aire* se consigue con un compresor, insertando un caudalímetro de precisión (se remite al Capítulo "Materiales y Métodos"), previo a la columna de la planta piloto.

La *alimentación de agua de lavado* se consigue mediante una bomba sumergida, que aspira agua tratada almacenada en una cuba de 0,55 m³.

La planta está dotada de *automatización*, resultando básica en el manejo y control de los sensores disponibles para el lavado. En efecto, mediante tubos,

conectados por válvulas de bola al soporte del filtro, se puede conocer la pérdida de carga a diferentes alturas del material filtrante. Asimismo, la lámina libre del agua sobre el filtro es captada por cuatro sensores que activan las electroválvulas de lavado pertinentes, para llevarse a cabo éste correctamente.

Con el fin de mantener un nivel constante en el filtro sobre el relleno, el *agua filtrada* que se recoge por la parte inferior de la columna, vuelve a subir hasta una cota suficiente para conseguir la inundación del material y, desde ahí, es conducida por gravedad a la cuba del agua tratada.

El caudal de agua que se va filtrando va disminuyendo al mismo ritmo con que el material filtrante se va colmatando. Como la alimentación de agua bruta no disminuye en caudal, este hecho se traduce en una reducción de la carga hidráulica, elevándose, en consecuencia, la lámina de agua. En el instante en que esta elevación alcanza la cota de un determinado sensor, se activa *el lavado*. Las fases que lo componen son:

- 1.- Esponjado con aire
- 2.- Lavado con aire y agua
- 3.- Aclarado con agua

4.- Reinicio del proceso

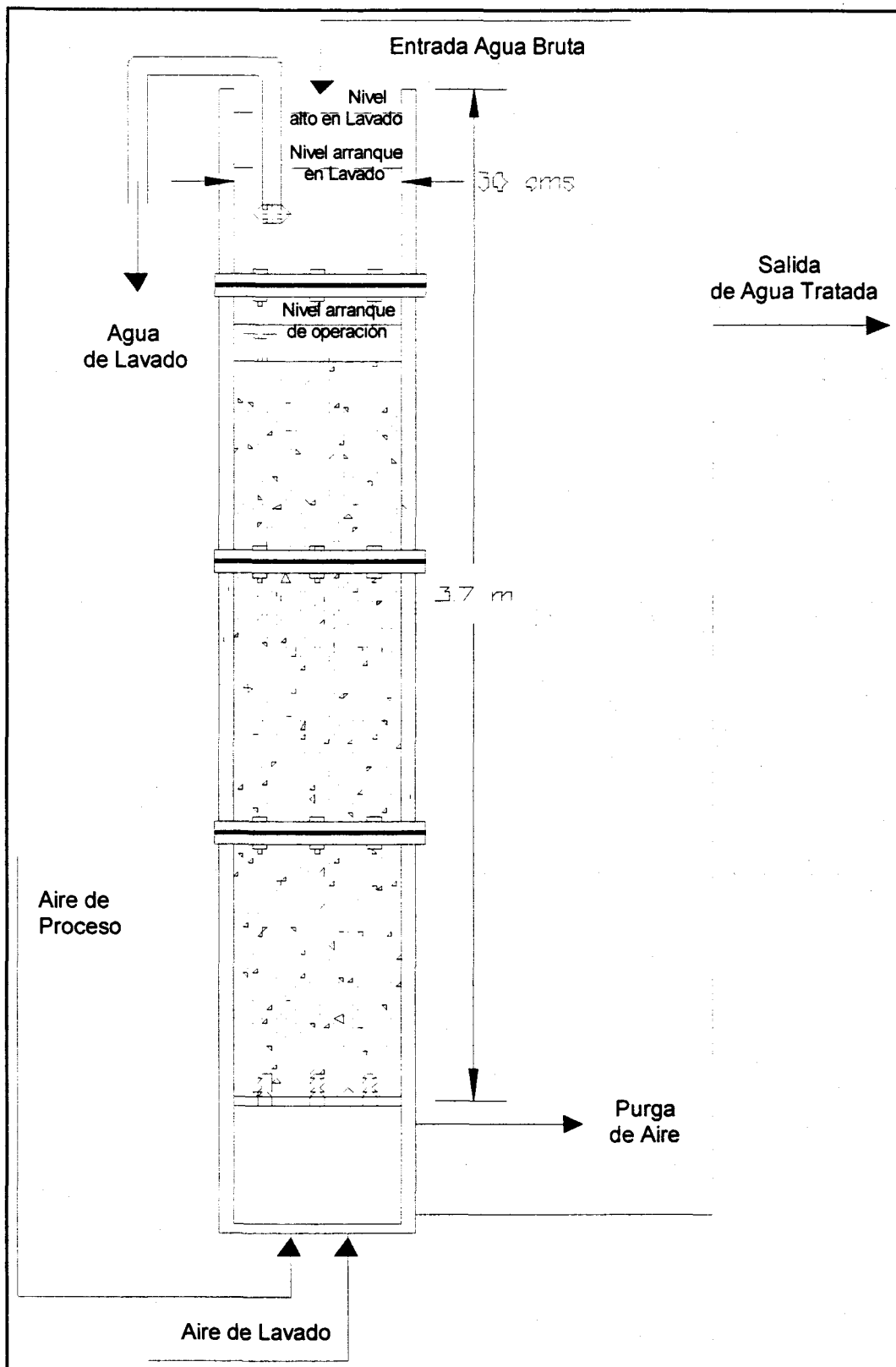
Esta planta incluye en la automatización de lavados, un período intermedio de desgasificación (salida de aire a presión almacenado en el filtro), inmediatamente antes del inicio de la primera fase y sendos períodos similares tras la fase 2 y previo al inicio de la fase 3. El tiempo de esta fase se predetermina.

En la siguiente página, se acompaña un esquema de la planta piloto.

Las reparaciones y modificaciones necesarias en la **PUESTA A PUNTO** y reinicio de la marcha en esta planta, que ya había sido utilizada en otras investigaciones anteriores de la Cátedra, fueron, básicamente, las siguientes:

- ✓ Sustitución de los rotámetros medidores de caudal de aire. La calibración de éstos puede encontrarse en el Capítulo "Materiales y Métodos".
- ✓ Adquisición de la pieza de automatización de lavados del panel de mandos.

Fig. 6.1.- Diagrama de flujos en la Primera Planta Piloto



- ✓ Adquisición de un nuevo compresor más potente y fiable que el anterior
- ✓ Traslado de la bomba de agua bruta hasta los decantadores primarios para evitar problemas con la aspiración.
- ✓ Sustitución de algunas electroválvulas y limpieza de otras.

La planta piloto se pone en marcha, definitivamente, tras las modificaciones expuestas con anterioridad, el día **23 de Diciembre de 1.995**.

6.2.- PLAN DE TRABAJO

6.2.1.- Introducción

La fase anterior de la Investigación finalizó su fase experimental con la tesis de la Sra. Zamorano, este mismo año de 1.995. El objetivo principal que se había marcado al comienzo, fue la comparación de rellenos de materiales reciclados en sistemas de depuración de lechos inundados. Todo el trabajo realizado fructificó en una conclusión positiva: la viabilidad del uso del Relleno Cerámico probado, con mayor o menor protección exterior de resina, como material soporte de este tipo de sistemas biopelícula; en cuanto al material plástico, se definieron las recomendaciones de fabricación para su correcto empleo como material soporte.

En cambio, *no se logró optimizar* un aspecto tan crítico en el conjunto del proceso biológico y tan determinante en la planificación económica de nueva instalación y explotación, como es el lavado. El motivo fue, fundamentalmente, el *exceso de altura de relleno utilizado*. Se operó con una altura de 1,80 metros y los equipos mecánicos se mostraron ineficaces para culminar un lavado efectivo de toda la biopelícula y sólidos retenidos en el seno del relleno filtrante, dada su considerable densidad saturada.

Fue así como se planteó la conveniencia de poner en marcha una nueva Investigación, en la que se continuaría ensayando con el Relleno Cerámico, que había proporcionado buenos resultados, pero se procedería a la disminución de altura de relleno. De este modo, se pretendía comprobar tres extremos:

- ✓ Si la idoneidad del material se mantendría para alturas reducidas de trabajo
- ✓ Si, al tiempo que se confirmaba lo anterior, la optimización de los lavados era factible
- ✓ Si era compatible una optimización del sistema con la potencia de bombas y soplantes y, por tanto, con el coste de explotación

Todo el discurso lógico descrito, concluye en la conveniencia de probar el **Relleno Cerámico, con alturas de trabajo de 0,8 y 1,2 metros.**

Para una más extensa información acerca de las características y naturaleza de este material, se remite al apartado descriptivo desarrollado al respecto en el capítulo "*Materiales y Métodos*", así como al Anejo correspondiente al "*Reportaje fotográfico*", donde puede apreciarse una impresión visual de los mismos.

6.2.2.- Metodología para la toma de datos

6.2.2.1.- Toma de muestras

La toma de muestras se realizó de forma integrada, estando compuestas por la incorporación de tres fracciones distintas, cada una de ellas correspondientes a tres tomas puntuales durante el día. Para cubrir las horas más críticas de funcionamiento de una estación depuradora, se seleccionaron las 8, 16 y 21 horas, como representativas de un día medio, tanto por tratarse de las horas de mayor contaminación del agua, como las de mayor caudal de agua bruta de entrada.

La muestra se recogía para su posterior análisis cada 24 horas, y justamente tras días completos de funcionamiento de la planta piloto, después de

un lavado. Sin perjuicio de toma de muestras aisladas, si se consideraba necesario, en días aleatorios. El total de muestras analizadas, diaria y sistemáticamente, ascendió a un total de dos, y cada una de ellas se asocia a los siguientes puntos de muestreo:

✓ Entrada de agua bruta a la planta piloto (procedente de los decantadores primarios de la E.D. Churriana Sur).

✓ Salida de agua tratada del Reactor Biológico.

Esporádicamente, se realizaron tomas de muestras con menor espaciamiento entre dos consecutivas, con el fin de comprobar la recuperación del filtro tras un lavado.

6.2.2.2- Analítica de las muestras

Las muestras tomadas diariamente eran sometidas a los siguientes análisis, sintetizados en el cuadro:

Cuadro 6.1.- Síntesis de las tomas de muestras realizadas, indicando punto de muestreo y periodicidad

<u>Punto de muestreo</u>	<u>Análisis</u>	<u>Periodicidad</u>
Entrada de agua bruta a la planta piloto (AB)	pH	Diaria
	DQO	Diaria
	DBO ₅	Diaria
	S.S.	Diaria
	NH ₄ ⁺	1 muestra cada 3 días
	NO ₃ ⁻	1 muestra cada 3 días
	NO ₂ ⁻	1 muestra cada 3 días
Salida de agua tratada del Reactor Biológico (AT1)	pH	Diaria
	DQO	Diaria
	DBO ₅	Diaria
	S.S.	Diaria
	NH ₄ ⁺	1 muestra cada 3 días
	NO ₃ ⁻	1 muestra cada 3 días
	NO ₂ ⁻	1 muestra cada 3 días

6.2.3.- Fases de trabajo en la Investigación de Choque

Como se ha expuesto anteriormente, se rellenó la columna de la planta piloto con Relleno Cerámico, y se ensayaron dos alturas de operación: 0,8 y 1,2 metros. Dado en las anteriores investigaciones se obtuvieron mejores resultados con Flujo Descendente del agua (Flujo contra-corriente de fluidos), es por ello que

se adopta esta disposición.

Finalmente, y con el objetivo de cubrir el estudio del más amplio espectro posible de funcionamiento, en base a las distintas variables consideradas, se adoptaron las fases de trabajo que se muestran a continuación en un cuadro síntesis; posteriormente se tratarán pormenorizadamente cada una de ellas:

Cuadro 6.2.- Cuadro - síntesis de las distintas fases de trabajo en el periodo de Investigación de Choque

nº de Fase	1º día de Puesta en Marcha de la fase	Relleno en Reactor Biológico (Altura de material)	Caudal de aire (Kg.O₂/h - Nm³/m²/h)
1	24 de Diciembre de 1.995	Relleno Cerámico (0,8 metros)	0,2 - 11,2
2	1 de Febrero de 1.995		0,7 - 38,75
3	20 de Febrero de 1.996	Relleno Cerámico (1,2 metros)	0,7 - 38,75
4	26 de Marzo de 1.996		0,2 - 11,2

6.3.- RESULTADOS ANALÍTICOS

6.3.1.- Fase nº1: Relleno Cerámico (0,8 metros): Caudal de aire = 0,2 Kg.

O₂/hora (11,2 Nm³ / m² / h, de aire)

A continuación se insertan los cuadros de datos incluidos en la relación siguiente:

Cuadro 6.3.- Fase nº1 (I. Choque): Datos de agua de entrada al Reactor Biológico (AB)

Cuadro 6.4.- Fase nº1 (I. Choque): Datos de agua de salida del Reactor Biológico (AT1)

Cuadro 6.5.- Fase nº1 (I. Choque): Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Reactor Biológico (AT1, respecto AB)

Cuadro 6.6.- Fase nº1 (I. Choque): Conformidad de los resultados obtenidos, con la Dir. 91/271 CEE

Cuadro 6.3.- Fase nº1 (I. Choque): Datos de agua de entrada al Reactor Biológico (AB)

<u>Día</u>	<u>Caudal de agua (l/h)</u>	<u>pH</u>	<u>DQO (mg/l)</u>	<u>DBO₅ (mg/l)</u>	<u>SS (mg/l)</u>
1	20	7,1	408	203	110
2	20	7,2	337	167	94
3	20	7,5	419	269	136
4	30	7,3	365	182	121
5	30	7,5	499	248	136
6	30	7,6	453	225	124
7	45	7,2	354	171	101
8	45	7,1	398	198	116
9	45	7,2	383	191	117
10	45	6,9	162	95	64
11	55	7,1	422	210	103
12	55	7,3	374	186	110

<i>Día</i>	<i>Caudal de agua (l/h)</i>	<i>pH</i>	<i>DQO (mg/l)</i>	<i>DBO₅ (mg/l)</i>	<i>SS (mg/l)</i>
13	55	7,3	501	250	156
14	55	7,0	616	285	128
15	55	7,3	637	292	148
16	55	7,5	621	230	151
17	70	7,3	483	223	131
18	70	7,0	438	225	110
19	70	6,8	580	290	114

Cuadro 6.4.- Fase n°1 (l. Choque): Datos de agua de salida del Reactor Biológico (AT1)

<i>Día</i>	<i>pH</i>	<i>DQO (mg/l)</i>	<i>DBO₅ (mg/l)</i>	<i>SS (mg/l)</i>
1	7,2	135	35	17
2	7,5	152	40	16
3	7,7	123	31	18
4	7,3	116	31	17
5	7,5	125	38	18
6	7,4	133	36	21
7	7,1	116	31	41
8	7,8	195	47	38
9	7,6	250	66	28
10	7,5	173	47	33
11	7,9	261	71	43
12	7,2	170	43	28
13	7,3	145	35	30
14	7,5	382	101	36
15	7,6	257	65	29
16	7,5	268	65	44
17	7,4	211	55	40
18	7,8	228	57	43
19	7,7	257	62	51

Cuadro 6.5.- Fase n°1 (I. Choque): Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Reactor Biológico (AT1, respecto AB)

Día	DQO (%)	DBO₅ (%)	SS (%)
1	66,9	82,8	84,5
2	54,9	76,0	83,0
3	70,6	88,5	86,8
4	68,2	83,0	86,0
5	74,9	84,7	86,8
6	70,6	84,0	83,1
7	67,2	81,9	59,4
8	51,0	76,3	67,2
9	34,7	65,4	76,1
10	-6,8	50,5	48,4
11	38,2	66,2	58,3
12	54,5	76,9	74,5
13	71,1	86,0	80,8
14	38,0	64,6	71,9
15	59,7	77,7	80,4
16	56,8	71,7	70,9
17	56,3	75,3	69,5
18	47,9	74,7	60,9
19	55,7	78,6	55,3

Cuadro 6.6.- Fase n°1 (I. Choque): Conformidad de los resultados con la Dir. 91/271 CEE

Parámetro de estudio	% conforme
DBO de salida	0
DQO de salida	21
SS de salida	58
Rendimiento de DBO	79 (límite: 80 %)
Rendimiento de SS	47

6.3.2.- Fase n°2: Relleno Cerámico (0,8 metros); Caudal de aire = 0,7 Kg. O₂/hora (38,75 Nm³ / m² / h, de aire)

A continuación se insertan los cuadros de datos incluidos en la relación siguiente:

Cuadro 6.7- Fase n°2 (I. Choque): Datos de agua de entrada al Reactor Biológico (AB)

Cuadro 6.8- Fase n°2 (I. Choque): Datos de agua de salida del Reactor Biológico (AT1)

Cuadro 6.9.- Fase n°2 (I. Choque): Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Reactor Biológico (AT1, respecto AB)

Cuadro 6.10- Fase n°2 (I. Choque): Conformidad de los resultados obtenidos, con la Dir. 91/271 CEE

Cuadro 6.7- Fase n°2 (I. Choque): Datos de agua de entrada al Reactor Biológico (AB)

Día	Caudal de agua (l/h)	pH	DQO (mg/l)	DBO₅ (mg/l)	SS (mg/l)
1	20	7,1	514	245	104
2	20	7,0	567	286	124
3	20	7,2	531	262	102
4	20	7,1	520	240	118
5	40	7,3	514	245	104
6	40	7,5	378	175	98
7	40	6,9	461	233	192
8	40	7,2	499	247	132
9	55	6,8	310	152	98
10	55	6,7	257	128	100
11	55	7,7	444	221	126
12	55	7,6	360	179	89

Día	Caudal de agua (l/h)	pH	DQO (mg/l)	DBO₅ (mg/l)	SS (mg/l)
13	55	7,2	551	227	118
14	55	7,1	587	288	122
15	68	7,0	535	280	288
16	68	7,2	560	250	114
17	68	7,0	601	270	158

Cuadro 6.8.- Fase n°2 (l. Choque): Datos de agua de salida del Reactor Biológico (AT1)

Día	pH	DQO (mg/l)	DBO₅ (mg/l)	SS (mg/l)
1	7,5	148	39	15
2	7,7	120	2	29
3	7,7	116	31	17
4	7,8	109	28	9
5	7,1	103	28	25
6	7,6	88	25	21
7	7,5	59	16	22
8	7,2	97	25	27
9	7,8	154	41	36
10	7,3	177	45	28
11	7,5	159	39	32
12	7,4	225	59	44
13	7,6	259	70	43
14	7,8	314	83	78
15	7,9	312	87	81
16	8	288	81	62
17	7,5	365	98	67

Cuadro 6.9.- Fase n°2 (I. Choque): Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Reactor Biológico (AT1, respecto AB)

Día	DQO (%)	DBO₅ (%)	SS (%)
1	71,2	84,1	85,6
2	78,8	99,3	76,6
3	78,2	88,2	83,3
4	79,0	88,3	92,4
5	80,0	88,6	76,0
6	76,7	85,7	78,6
7	87,2	93,1	88,5
8	80,6	89,9	79,5
9	50,3	73,0	63,3
10	31,1	64,8	72,0
11	64,2	82,4	74,6
12	37,5	67,0	50,6
13	53,0	69,2	63,6
14	46,5	71,2	36,1
15	41,7	68,9	71,9
16	48,6	67,6	45,6
17	39,3	63,7	57,6

Cuadro 6.10.- Fase n°2 (I. Choque): Conformidad de los resultados con la Dir. 91/271 CEE

Parámetro de estudio	% conforme
DBO de salida	15
DQO de salida	41
SS de salida	59
Rendimiento de DBO	88 (límite: 80 %)
Rendimiento de SS	35

6.3.3.- Fase nº3: Relleno Cerámico (1,2 metros); Caudal de aire = 0,7 Kg.

O₂/hora (38,75 Nm³ / m² / h, de aire)

A continuación se insertan los cuadros de datos incluidos en la relación siguiente:

Cuadro 6.11.- Fase nº3 (I. Choque): Datos de agua de entrada al Reactor Biológico (AB)

Cuadro 6.12.- Fase nº3 (I. Choque): Datos de agua de salida del Reactor Biológico (AT1)

Cuadro 6.13.- Fase nº3 (I. Choque): Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Reactor Biológico (AT1, respecto AB)

Cuadro 6.14.- Fase nº3 (I. Choque): Conformidad de los resultados obtenidos, con la Dir. 91/271 CEE

Cuadro 6.11.- Fase nº3 (I. Choque): Datos de agua de entrada al Reactor Biológico (AB)

Día	Caudal de agua (l/h)	pH	DQO (mg/l)	DBO₅ (mg/l)	SS (mg/l)
1	20	7,0	515	230	123
2	20	7,2	533	220	120
3	20	7,5	571	240	136
4	20	7,2	547	280	122
5	40	7,1	483	239	133
6	40	6,9	561	272	122
7	40	6,8	549	270	126
8	40	7,2	571	300	132
9	55	7,0	387	201	108
10	55	7,2	408	199	103
11	55	7,0	562	300	110
12	55	7,1	580	340	144
13	68	6,9	421	220	96

Día	Caudal de agua (l/h)	pH	DQO (mg/l)	DBO₅ (mg/l)	SS (mg/l)
14	68	7,0	390	230	100
15	68	7,6	461	180	110
16	68	7,2	421	205	96
17	85	7,2	283	160	70
18	85	7,1	522	250	100
19	85	7,2	484	290	116
20	120	7,1	473	235	78
21	120	7,0	392	195	107
22	165	7,0	452	225	72
23	165	7,6	532	289	96
24	215	7,2	458	231	104
25	215	7,3	395	197	112

Cuadro 6.12.- Fase n°3 (l. Choque): Datos de agua de salida del Reactor Biológico (AT1)

Día	pH	DQO (mg/l)	DBO₅ (mg/l)	SS (mg/l)
1	7,5	79	21	8
2	7,4	100	27	15
3	7,3	86	23	12
4	7,5	111	30	9
5	7,4	101	27	12
6	7,2	116	31	15
7	7,6	92	26	14
8	7,4	113	32	17
9	7,5	143	39	28
10	7,6	125	32	12
11	7,2	116	29	24
12	7,4	93	24	16
13	7,5	123	35	14
14	7,1	100	30	16
15	7,3	111	31	12
16	7,8	104	28	13
17	7,4	129	35	13
18	7,8	143	40	19

Día	pH	DQO (mg/l)	DBO₅ (mg/l)	SS (mg/l)
19	7,5	161	43	23
20	7,8	223	61	16
21	7,4	111	27	26
22	7,2	287	74	29
23	7,6	252	69	47
24	7,7	348	94	42
25	7,5	277	71	33

Cuadro 6.13.- Fase n°3 (I. Choque): Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Reactor Biológico (AT1, respecto AB)

Día	DQO (%)	DBO₅ (%)	SS (%)
1	84,7	90,9	93,5
2	81,2	87,7	87,5
3	84,9	90,4	91,2
4	79,7	89,3	92,6
5	79,1	88,7	91,0
6	79,3	88,6	87,7
7	83,2	90,4	88,9
8	80,2	89,3	87,1
9	63,0	80,6	74,1
10	69,4	83,9	88,3
11	79,4	90,3	78,2
12	84,0	92,9	88,9
13	70,8	84,1	85,4
14	74,4	87,0	84,0
15	75,9	82,8	89,1
16	75,3	86,3	86,5
17	54,4	78,1	81,4
18	72,6	84,0	81,0
19	66,7	85,2	80,2
20	52,9	74,0	79,5
21	71,7	86,2	75,7
22	36,5	67,1	59,7
23	52,6	76,1	51,0

<i>Día</i>	<i>DQO (%)</i>	<i>DBO₅ (%)</i>	<i>SS (%)</i>
24	24,0	59,3	59,6
25	29,9	64,0	70,5

Cuadro 6.14.- Fase n°3 (I. Choque): Conformidad de los resultados con la Dir. 91/271 CEE

<i>Parámetro de estudio</i>	<i>% conforme</i>
<i>DBO de salida</i>	12
<i>DQO de salida</i>	62
<i>SS de salida</i>	92
<i>Rendimiento de DBO</i>	84 (límite: 80 %)
<i>Rendimiento de SS</i>	76

6.3.4.- Fase n°4: Relleno Cerámico (1,2 metros); Caudal de aire = 0,2 Kg. O₂/hora (11,2 Nm³ / m² / h, de aire)

A continuación se insertan los cuadros de datos incluidos en la relación siguiente:

Cuadro 6.15.- Fase n°4 (I. Choque): Datos de agua de entrada al Reactor Biológico (AB)

Cuadro 6.16.- Fase n°4 (I. Choque): Datos de agua de salida del Reactor Biológico (AT1)

Cuadro 6.17.- Fase n°4 (I. Choque): Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Reactor Biológico (AT1, respecto AB)

Cuadro 6.18.- Fase n^o4 (I. Choque): Conformidad de los resultados obtenidos, con la Dir. 91/271 CEE

Cuadro 6.15.- Fase n^o4 (I. Choque): Datos de agua de entrada al Reactor Biológico (AB)

Día	Caudal de agua (l/h)	pH	DQO (mg/l)	DBO₅ (mg/l)	SS (mg/l)
1	20	6,8	463	230	108
2	20	7,3	490	244	96
3	20	7,2	454	226	144
4	20	7,0	531	264	144
5	30	7,1	425	198	117
6	30	7,3	402	215	100
7	30	7,0	353	176	102
8	30	6,9	513	241	135
9	45	7,6	488	243	152
10	45	7,2	640	323	158
11	45	7,3	540	269	108
12	45	6,8	576	286	132
13	55	7,2	483	239	133
14	55	7,1	549	277	121
15	55	7,3	493	246	115
16	55	7,0	459	230	108
17	70	6,8	535	275	139
18	70	6,9	342	170	60
19	70	7,4	583	290	90
20	85	7,2	609	303	108
21	85	7,1	423	212	84
22	85	7,2	450	224	72
23	85	7,0	492	245	80
24	130	6,8	434	216	90
25	130	7,3	522	260	88
26	170	7,2	489	268	134
27	170	7,3	517	257	102
28	210	6,9	529	235	92
29	210	7,1	414	206	88

Cuadro 6.16.- Fase n°4 (I. Choque): Datos de agua de salida del Reactor Biológico (AT1)

<u>Día</u>	<u>pH</u>	<u>DQO (mg/l)</u>	<u>DBO₅ (mg/l)</u>	<u>SS (mg/l)</u>
1	7,5	50	14	2
2	7,4	27	7	5
3	7,6	43	11	4
4	7,7	56	14	9
5	7,2	79	21	8
6	7,8	56	15	9
7	7,6	36	8	9
8	7,5	53	12	7
9	7,6	86	24	12
10	7,9	75	21	14
11	7,2	79	20	12
12	8,1	90	25	11
13	7,2	93	25	20
14	7,5	138	36	21
15	8,3	120	30	28
16	7,5	105	27	20
17	7,9	109	30	14
18	7,5	75	18	9
19	7,8	112	27	11
20	7,6	66	16	8
21	7,4	72	18	12
22	7,5	63	16	19
23	8	129	32	19
24	7,6	118	32	22
25	7,8	140	38	31
26	7,4	159	41	36
27	7,9	192	52	47
28	7,4	405	111	72
29	7,5	203	55	40

Cuadro 6.17.- Fase n^o4 (I. Choque): Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Reactor Biológico (AT1, respecto AB)

Día	DQO (%)	DBO₅ (%)	SS (%)
1	89,2	93,9	98,1
2	94,5	97,1	94,8
3	90,5	95,1	97,2
4	89,5	94,7	93,8
5	81,4	89,4	93,2
6	86,1	93,0	91,0
7	89,8	95,5	91,2
8	89,7	95,0	94,8
9	82,4	90,1	92,1
10	88,3	93,5	91,1
11	85,4	92,6	88,9
12	84,4	91,3	91,7
13	80,7	89,5	85,0
14	74,9	87,0	82,6
15	75,7	87,8	75,7
16	77,1	88,3	81,5
17	79,6	89,1	89,9
18	78,1	89,4	85,0
19	80,8	90,7	87,8
20	89,2	94,7	92,6
21	83,0	91,5	85,7
22	86,0	92,9	73,6
23	73,8	86,9	76,3
24	72,8	85,2	75,6
25	73,2	85,4	64,8
26	67,5	84,7	73,1
27	62,9	79,8	53,9
28	23,4	52,8	21,7
29	51,0	73,3	54,5

Cuadro 6.18.- Fase n°4 (I. Choque): Conformidad de los resultados con la Dir. 91/271 CEE

Parámetro de estudio	% conforme
DBO de salida	55
DQO de salida	76
SS de salida	86
Rendimiento de DBO	97 (límite: 80 %)
Rendimiento de SS	86

6.3.5.- Representación gráfica de algunos resultados, en función del tiempo

Gráfico 6.1.- Fase n°1 (I. Choque): DBO de entrada y salida / Tiempo

Gráfico 6.2.- Fase n°1 (I. Choque): SS de entrada y salida / Tiempo

Gráfico 6.3.- Fase n°2 (I. Choque): DBO de entrada y salida / Tiempo

Gráfico 6.4.- Fase n°2 (I. Choque): SS de entrada y salida / Tiempo

Gráfico 6.5.- Fase n°3 (I. Choque): DBO de entrada y salida / Tiempo

Gráfico 6.6.- Fase n°3 (I. Choque): SS de entrada y salida / Tiempo

Gráfico 6.7.- Fase n°4 (I. Choque): DBO de entrada y salida / Tiempo

Gráfico 6.8.- Fase n°4 (I. Choque): SS de entrada y salida / Tiempo

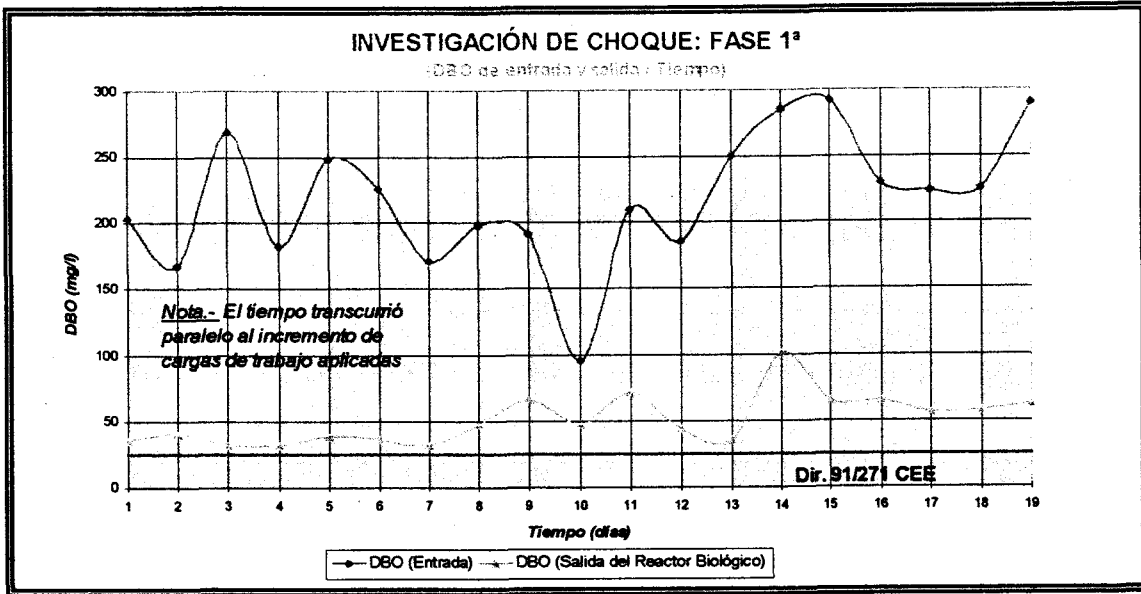


Gráfico 6.1

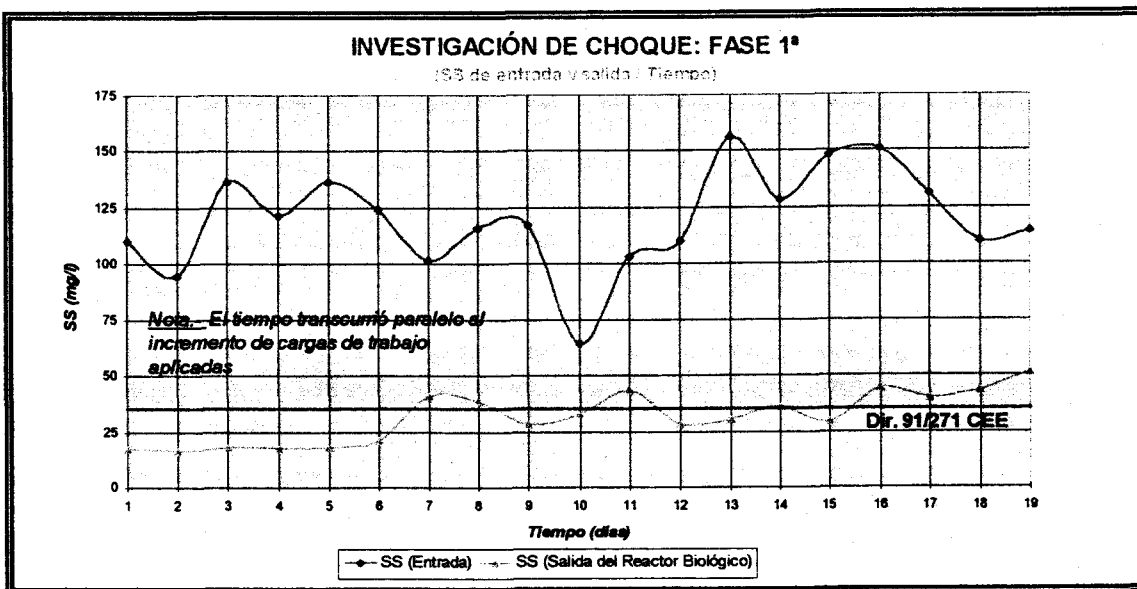


Gráfico 6.2

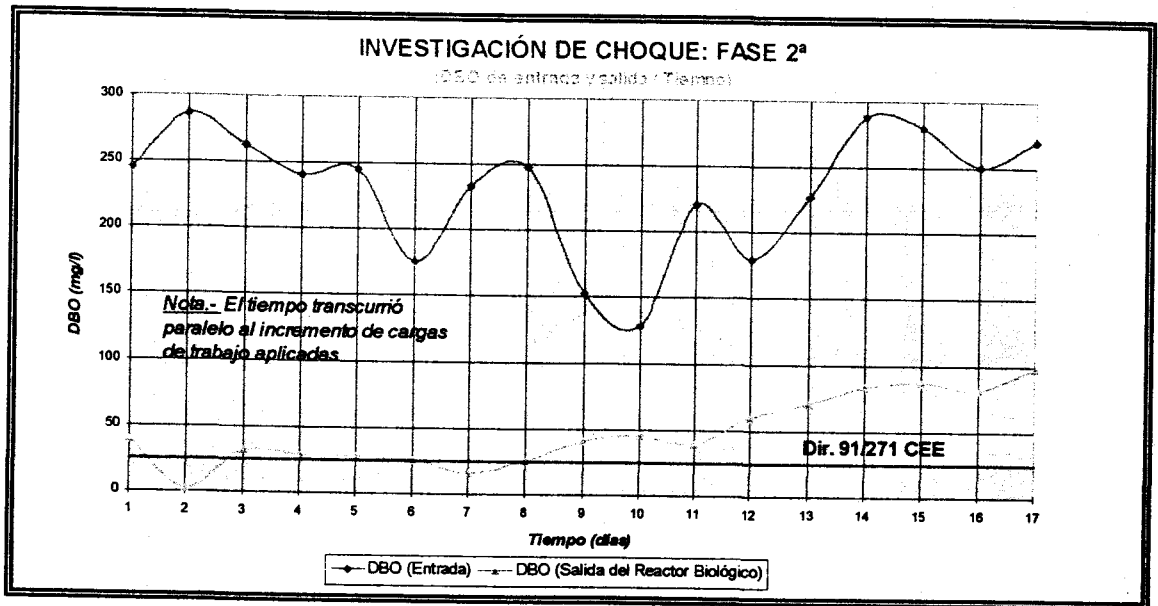


Gráfico 6.3

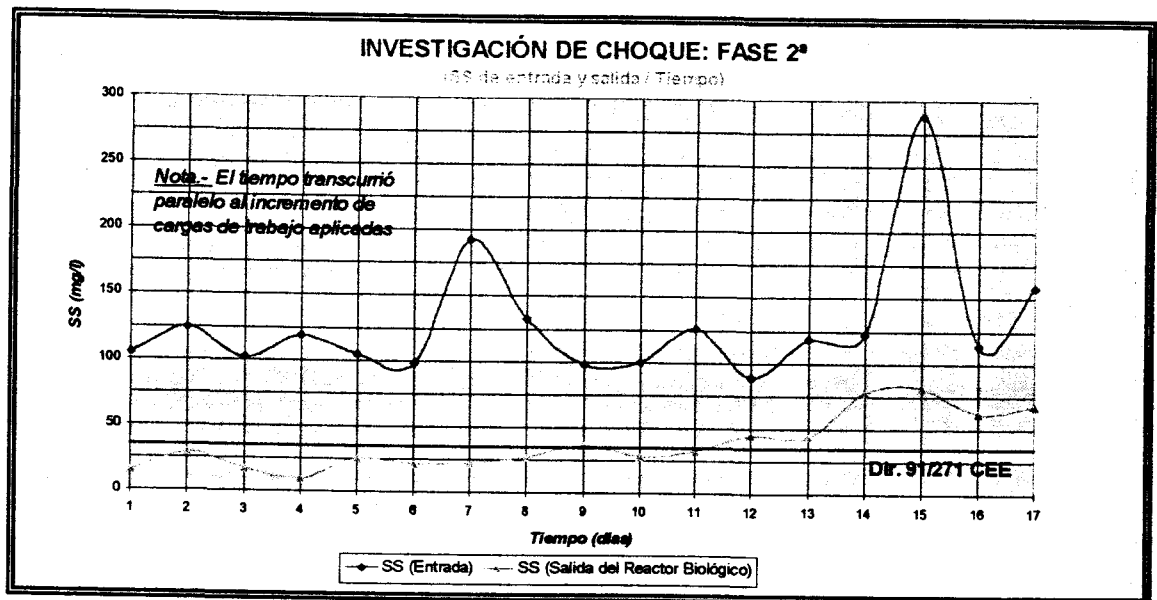


Gráfico 6.4

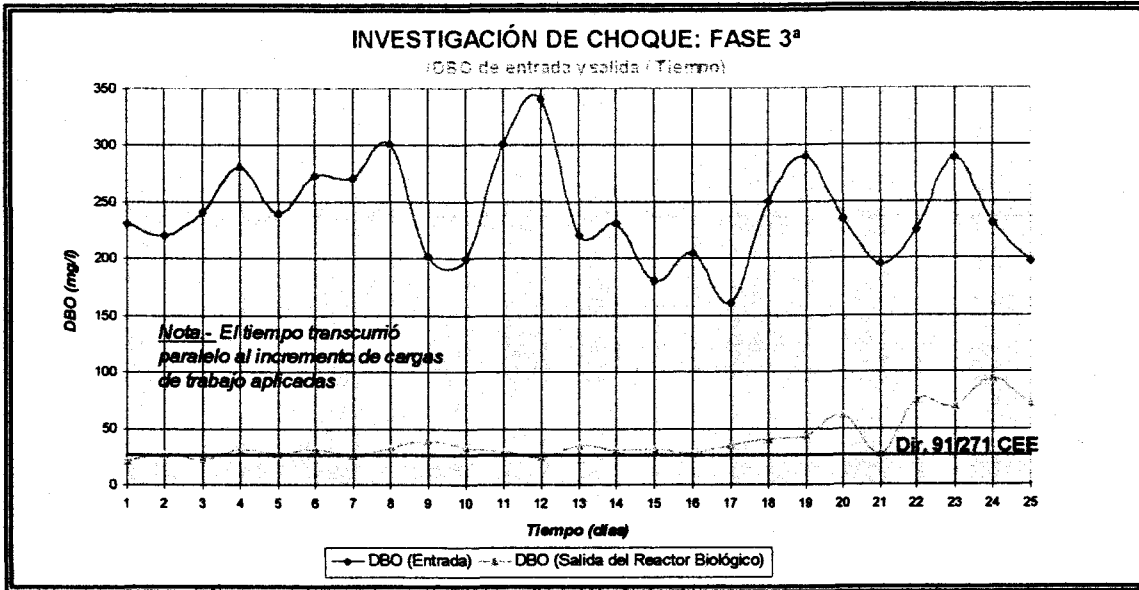


Gráfico 6.5

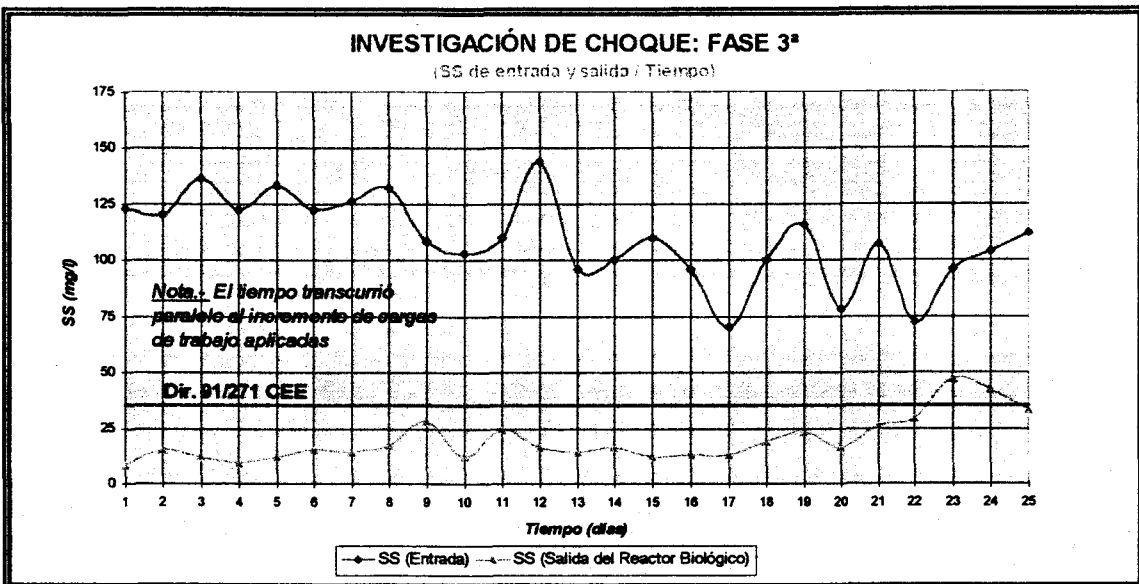


Gráfico 6.6

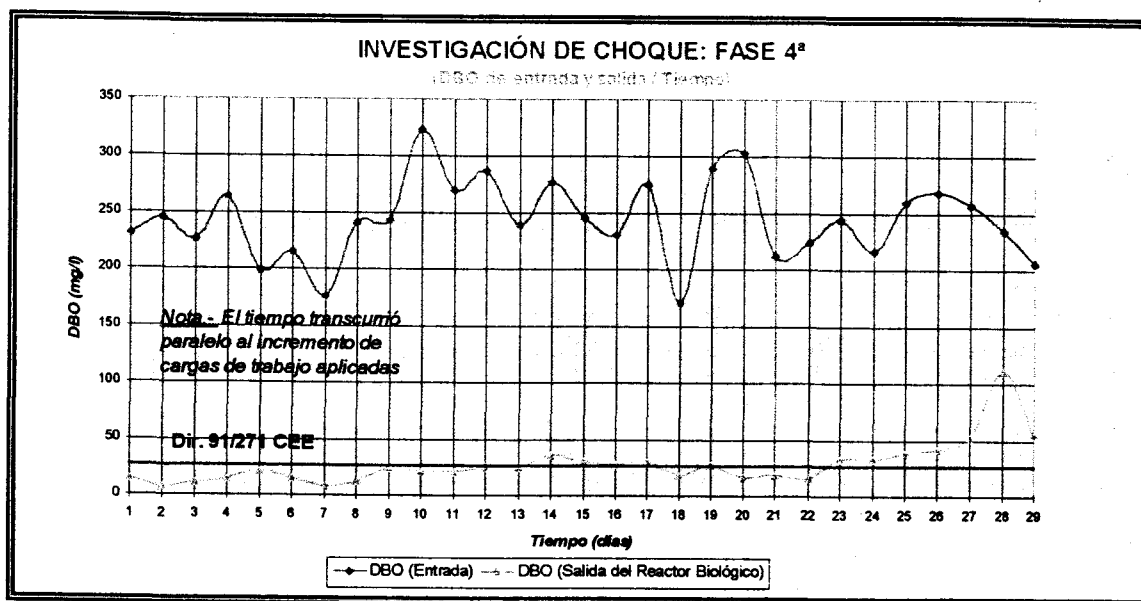


Gráfico 6.7

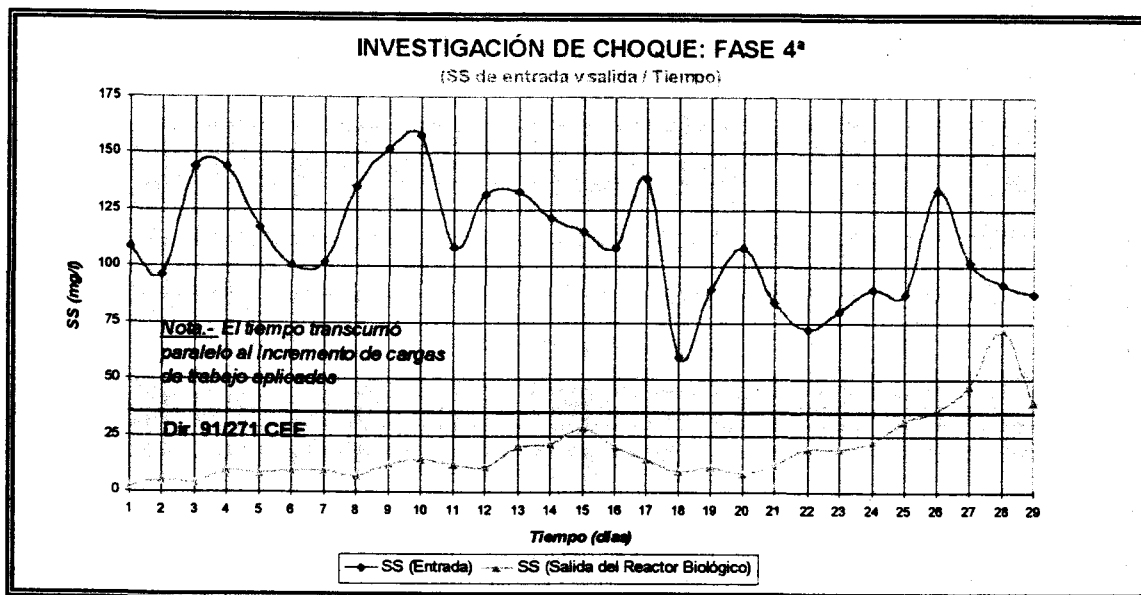


Gráfico 6.8

6.4.- ESTUDIO SISTEMÁTICO DE LA RELACIÓN ENTRE VARIABLES Y PARÁMETROS

6.4.1.- Cargas de trabajo aplicadas

A continuación, se insertan los siguientes cuadros, cuyos valores presentados se obtienen, básicamente, como producto de una variable (el caudal) y un parámetro (la concentración de un determinado contaminante en el agua):

Cuadro 6.19.- Fase n^º1 (I. Choque): Cargas de entrada al Reactor Biológico

Cuadro 6.20.- Fase n^º2 (I. Choque): Cargas de entrada al Reactor Biológico

Cuadro 6.21.- Fase n^º3 (I. Choque): Cargas de entrada al Reactor Biológico

Cuadro 6.22.- Fase n^º4 (I. Choque): Cargas de entrada al Reactor Biológico

Cuadro 6.19.- Fase n^º1 (I. Choque): Cargas de entrada al Reactor Biológico

<i>Día</i>	C_n (m/h)	$C_{vol} DQO$ (Kg. DQO/m ³ /d)	$C_{vol} DBO$ (Kg. DBO/m ³ /d)	$C_{vol} SS$ (Kg. SS/m ³ /d)	$C_{Supr} DQO$ (Kg. DQO/m ³ /d)	$C_{Supr} DBO$ (Kg. DBO/m ³ /d)	$C_{Supr} SS$ (Kg. SS/m ³ /d)
1	0,30	3,71	1,84	1,00	2,96	1,48	0,80
2	0,30	3,06	1,52	0,85	2,45	1,21	0,68
3	0,30	3,81	2,44	1,24	3,04	1,95	0,99
4	0,45	4,97	2,48	1,65	3,98	1,98	1,32
5	0,45	6,80	3,38	1,85	5,44	2,70	1,48
6	0,45	6,17	3,07	1,69	4,94	2,45	1,35
7	0,68	7,24	3,49	2,06	5,79	2,80	1,65
8	0,68	8,13	4,05	2,37	6,51	3,24	1,90
9	0,68	7,83	3,90	2,39	6,26	3,12	1,91
10	0,68	3,31	1,94	1,31	2,65	1,55	1,05

Día	C_h (m/h)	$C_{vol} DQO$ (Kg. DQO/m ³ /d)	$C_{vol} DBO$ (Kg. DBO/m ³ /d)	$C_{vol} SS$ (Kg. SS/m ³ /d)	$C_{sup} DQO$ (Kg. DQO/m ³ /d)	$C_{sup} DBO$ (Kg. DBO/m ³ /d)	$C_{sup} SS$ (Kg. SS/m ³ /d)
11	0,83	10,54	5,25	2,57	8,43	4,20	2,06
12	0,83	9,34	4,65	2,75	7,47	3,72	2,20
13	0,83	12,52	6,25	3,90	10,01	5,00	3,12
14	0,83	15,39	7,12	3,20	12,31	5,70	2,56
15	0,83	15,91	7,29	3,70	12,73	5,84	2,96
16	0,83	15,51	5,75	3,77	12,41	4,60	3,02
17	1,06	15,36	7,09	4,16	12,28	5,67	3,33
18	1,06	13,93	7,15	3,50	11,14	5,72	2,80
19	1,06	18,44	9,22	3,62	14,75	7,38	2,90

Cuadro 6.20- Fase n°2 (I. Choque): Cargas de entrada al Reactor Biológico

Día	C_h (m/h)	$C_{vol} DQO$ (Kg. DQO/m ³ /d)	$C_{vol} DBO$ (Kg. DBO/m ³ /d)	$C_{vol} SS$ (Kg. SS/m ³ /d)	$C_{sup} DQO$ (Kg. DQO/m ³ /d)	$C_{sup} DBO$ (Kg. DBO/m ³ /d)	$C_{sup} SS$ (Kg. SS/m ³ /d)
1	0,30	4,67	2,23	0,94	3,74	1,78	0,76
2	0,30	5,15	2,60	1,13	4,12	2,08	0,90
3	0,30	4,82	2,38	0,93	3,86	1,90	0,74
4	0,30	4,72	2,18	1,07	3,78	1,74	0,86
5	0,61	9,34	4,45	1,89	7,47	3,56	1,51
6	0,61	6,87	3,18	1,78	5,49	2,54	1,42
7	0,61	8,38	4,23	3,49	6,70	3,39	2,79
8	0,61	9,07	4,49	2,40	7,25	3,59	1,92
9	0,83	7,74	3,80	2,45	6,20	3,04	1,96
10	0,83	6,42	3,20	2,50	5,14	2,56	2,00
11	0,83	11,09	5,52	3,15	8,87	4,42	2,52
12	0,83	8,99	4,47	2,22	7,19	3,58	1,78
13	0,83	13,76	5,67	2,95	11,01	4,54	2,36
14	0,83	14,66	7,19	3,05	11,73	5,76	2,44
15	1,03	16,52	8,65	8,89	13,22	6,92	7,12
16	1,03	17,30	7,72	3,52	13,84	6,18	2,82
17	1,03	18,56	8,34	4,88	14,85	6,67	3,90

Cuadro 6.21.- Fase n°3 (I. Choque): Cargas de entrada al Reactor Biológico

Día	C_h (m/h)	$C_{vol. DQO}$ (Kg. DQO/m ³ /d)	$C_{vol. DBO}$ (Kg. DBO/m ³ /d)	$C_{vol. SS}$ (Kg. SS/m ³ /d)	$C_{Sup. DQO}$ (Kg. DQO/m ² /d)	$C_{Sup. DBO}$ (Kg. DBO/m ² /d)	$C_{Sup. SS}$ (Kg. SS/m ² /d)
1	0,30	3,12	1,39	0,74	3,74	1,67	0,89
2	0,30	3,23	1,33	0,73	3,87	1,60	0,87
3	0,30	3,46	1,45	0,82	4,15	1,74	0,99
4	0,30	3,31	1,70	0,74	3,98	2,03	0,89
5	0,61	5,85	2,89	1,61	7,02	3,47	1,93
6	0,61	6,79	3,29	1,48	8,15	3,95	1,77
7	0,61	6,65	3,27	1,53	7,98	3,92	1,83
8	0,61	6,92	3,63	1,60	8,30	4,36	1,92
9	0,83	6,44	3,35	1,80	7,73	4,02	2,16
10	0,83	6,79	3,31	1,72	8,15	3,98	2,06
11	0,83	9,36	5,00	1,83	11,23	6,00	2,20
12	0,83	9,66	5,66	2,40	11,59	6,79	2,88
13	1,03	8,67	4,53	1,98	10,40	5,44	2,37
14	1,03	8,03	4,74	2,06	9,64	5,68	2,47
15	1,03	9,49	3,71	2,26	11,39	4,45	2,72
16	1,03	8,67	4,22	1,98	10,40	5,07	2,37
17	1,29	7,28	4,12	1,80	8,74	4,94	2,16
18	1,29	13,43	6,43	2,57	16,12	7,72	3,09
19	1,29	12,46	7,46	2,99	14,95	8,96	3,58
20	1,82	17,19	8,54	2,83	20,62	10,25	3,40
21	1,82	14,24	7,09	3,89	17,09	8,50	4,67
22	2,50	22,58	11,24	3,60	27,10	13,49	4,32
23	2,50	26,58	14,44	4,80	31,89	17,33	5,76
24	3,26	29,82	15,04	6,77	35,78	18,05	8,12
25	3,26	25,71	12,82	7,29	30,86	15,39	8,75

Cuadro 6.22.- Fase n°4 (I. Choque): Cargas de entrada al Reactor Biológico

Día	C_p (m/h)	$C_{vol. DQO}$ (Kg. DQO/m ³ /d)	$C_{vol. DBO}$ (Kg. DBO/m ³ /d)	$C_{vol. SS}$ (Kg. SS/m ³ /d)	$C_{Sup. DQO}$ (Kg. DQO/m ² /d)	$C_{Sup. DBO}$ (Kg. DBO/m ² /d)	$C_{Sup. SS}$ (Kg. SS/m ² /d)
1	0,30	2,80	1,39	0,65	3,36	1,67	0,78
2	0,30	2,97	1,48	0,58	3,56	1,77	0,70
3	0,30	2,75	1,37	0,87	3,30	1,64	1,05
4	0,30	3,22	1,60	0,87	3,86	1,92	1,05
5	0,45	3,86	1,80	1,06	4,63	2,16	1,28
6	0,45	3,65	1,95	0,91	4,38	2,34	1,09
7	0,45	3,21	1,60	0,93	3,85	1,92	1,11
8	0,45	4,66	2,19	1,23	5,59	2,63	1,47
9	0,68	6,65	3,31	2,07	7,98	3,97	2,49
10	0,68	8,72	4,40	2,15	10,46	5,28	2,58
11	0,68	7,36	3,67	1,47	8,83	4,40	1,77
12	0,68	7,85	3,90	1,80	9,42	4,68	2,16
13	0,83	8,04	3,98	2,21	9,65	4,78	2,66
14	0,83	9,14	4,61	2,02	10,97	5,54	2,42
15	0,83	8,21	4,10	1,92	9,85	4,92	2,30
16	0,83	7,64	3,83	1,80	9,17	4,60	2,16
17	1,06	11,34	5,83	2,95	13,61	6,99	3,54
18	1,06	7,25	3,60	1,27	8,70	4,32	1,53
19	1,06	12,36	6,15	1,91	14,83	7,38	2,29
20	1,29	15,67	7,80	2,78	18,81	9,36	3,34
21	1,29	10,89	5,46	2,16	13,06	6,55	2,59
22	1,29	11,58	5,77	1,85	13,90	6,92	2,22
23	1,29	12,66	6,31	2,06	15,20	7,57	2,47
24	1,97	17,08	8,50	3,54	20,50	10,20	4,25
25	1,97	20,55	10,23	3,46	24,66	12,28	4,16
26	2,57	25,17	13,80	6,90	30,21	16,55	8,28
27	2,57	26,61	13,23	5,25	31,93	15,87	6,30
28	3,18	33,64	14,94	5,85	40,36	17,93	7,02
29	3,18	26,32	13,10	5,60	31,59	15,72	6,71

6.4.2.- Caracterización estadística de resultados

6.4.2.1.- Fase n°1: Relleno Cerámico (0.8 metros); Caudal de aire = 0.2 Kg. O₂/hora (11.2 Nm³ / m² / h. de aire)

A continuación se insertan los cuadros de datos incluidos en la relación siguiente:

Cuadro 6.23.- Fase n°1 (I. Choque): Caracterización del agua de entrada al Reactor Biológico (AB)

Cuadro 6.24.- Fase n°1 (I. Choque): Caracterización de las cargas hidráulica y volumétricas de entrada al Reactor Biológico

Cuadro 6.25.- Fase n°1 (I. Choque): Caracterización de las cargas superficiales de entrada al Reactor Biológico

Cuadro 6.26.- Fase n°1 (I. Choque): Caracterización del agua tratada, a la salida del Reactor Biológico (AT1)

Cuadro 6.27.- Fase n°1 (I. Choque): Caracterización de Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Reactor Biológico (AT1, respecto AB)

Cuadro 6.28.- Fase n°1 (I. Choque): Caracterización de algunos parámetros referentes a la aireación en el Reactor Biológico

Nota.- La varianza que aparece en todas las tablas siguientes, se define como la media de los cuadrados de las desviaciones a la media, usándose para su cálculo, la fórmula que tiene por denominador el número de miembros de la muestra (n). En consecuencia, la desviación típica se calcula a partir de dicho concepto de la varianza.

Cuadro 6.23.- Fase n°1 (I. Choque): Caracterización del agua de entrada al Reactor Biológico (AB)

Parámetro estadístico	Caudal de agua (l/h)	pH	DQO (mg/l)	DBO₅ (mg/l)	SS (mg/l)
Mínimo	20	6,8	162	95	64
Máximo	70	7,6	637	292	156
Rango o amplitud	50	0,8	475	197	92
Media aritmética	46	7,2	445	218	119
Desviación media	13,463	0,1695	87,5900	37,6898	16,3934
Varianza (*)	263,9	0,0438	12790,3	2295,67	451,20
Desviación típica	16,243	0,2092	113,094	47,9132	21,2414
Coef. de variación	35,47	2,90	25,43	21,99	17,78

Cuadro 6.24.- Fase n°1 (I. Choque): Caracterización de las cargas hidráulica y volumétricas de entrada al Reactor Biológico

Parámetro estadístico	Ch (m/h)	C.vol. DQO (Kg.DQO/m³/d)	C.vol. DBO₅ (Kg.DBO₅/m³/d)	C.vol. SS (Kg.SS/m³/d)
Mínimo	0,30	3,06	1,52	0,85
Máximo	1,06	18,44	9,22	4,16
Rango o amplitud	0,76	15,38	7,70	3,31
Media aritmética	0,69	9,58	4,63	2,50
Desviación media	0,2038	4,3133	1,9089	0,9085
Varianza (*)	0,0605	23,6962	4,8034	1,0835
Desviación típica	0,2459	4,8679	2,1917	1,0409
Coef. de variación	35,47	50,83	47,39	41,56

Cuadro 6.25.- Fase n°1 (I. Choque): Caracterización de las cargas superficiales de entrada al Reactor Biológico

Parámetro estadístico	C.sup. DQO (Kg.DQO/m²/d)	C.sup. DBO₅ (Kg.DBO₅/m²/d)	C.sup. SS (Kg.SS/m²/d)
Mínimo	2,45	1,21	0,68
Máximo	14,75	7,38	3,33
Rango o amplitud	12,30	6,16	2,65
Media aritmética	7,66	3,70	2,00
Desviación media	3,4506	1,5271	0,7268
Varianza (*)	15,1656	3,0742	0,6934
Desviación típica	3,8943	1,7533	0,8327
Coef. de variación	50,83	47,39	41,56

Cuadro 6.26.- Fase n°1 (I. Choque): Caracterización del agua tratada, a la salida del Reactor Biológico (AT1)

Parámetro estadístico	pH	DQO (mg/l)	DBO₅ (mg/l)	SS (mg/l)
Mínimo	7,1	116	31	16
Máximo	7,9	382	101	51
Rango o amplitud	0,8	266	70	35
Media aritmética	7,5	195	50	31
Desviación media	0,1684	58,7147	14,6814	9,3740
Varianza (*)	0,0463	4851,40	316,006	115,463
Desviación típica	0,2152	69,6520	17,7765	10,7454
Coef. de variación	2,87	35,80	35,33	34,55

Cuadro 6.27.- Fase n°1 (I. Choque): Caracterización de Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Reactor Biológico (AT1, respecto AB)

Parámetro estadístico	DQO (%)	DBO₅ (%)	SS (%)
Mínimo	-6,79	50,53	48,44
Máximo	74,95	88,48	86,76
Rango o amplitud	81,74	37,95	38,33
Media aritmética	54,24	76,04	72,82
Desviación media	12,89	6,72	9,86
Varianza (*)	341,9	81,2	132,9
Desviación típica	18,49	9,01	11,53
Coef. de variación	34,09	11,85	15,83

Cuadro 6.28.- Fase n°1 (I. Choque): Caracterización de algunos parámetros referentes a la aireación en el Reactor Biológico

Parámetro estadístico	Kg. O₂ / l. agua bruta	Kg. O₂ / Kg. DBO_{5,elim}
Mínimo	0,003	1,00
Máximo	0,01	7,41
Rango o amplitud	0,007	6,40
Media aritmética	0,0049	2,75
Desviación media	0,0019	1,2382
Varianza (*)	0,0000	2,8362
Desviación típica	0,0024	1,6841
Coef. de variación	48,07	61,19

6.4.2.2.- Fase n°2: Relleno Cerámico (0.8 metros): Caudal de aire = 0.7 Kg. O₂/hora (38.75 Nm³ / m² / h. de aire)

A continuación se insertan los cuadros de datos incluidos en la relación siguiente:

Cuadro 6.29.- Fase n°2 (I. Choque): Caracterización del agua de entrada al Reactor Biológico (AB)

Cuadro 6.30.- Fase n°2 (I. Choque): Caracterización de las cargas hidráulica y volumétricas de entrada al Reactor Biológico

Cuadro 6.31.- Fase n°2 (I. Choque): Caracterización de las cargas superficiales de entrada al Reactor Biológico

Cuadro 6.32.- Fase n°2 (I. Choque): Caracterización del agua tratada, a la salida del Reactor Biológico (AT1)

Cuadro 6.33.- Fase n°2 (I. Choque): Caracterización de Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Reactor Biológico (AT1, respecto AB)

Cuadro 6.34.- Fase n°2 (I. Choque): Caracterización de algunos parámetros referentes a la aireación en el Reactor Biológico

Nota.- La varianza que aparece en todas las tablas siguientes, se define como la media de los cuadrados de las desviaciones a la media, usándose para su cálculo, la fórmula que tiene por denominador el número de miembros de la muestra (n). En consecuencia, la desviación típica se calcula a partir de dicho concepto de la varianza.

Cuadro 6.29.- Fase n°2 (I. Choque): Caracterización del agua de entrada al Reactor Biológico (AB)

Parámetro estadístico	Caudal de agua (l/h)	pH	DQO (mg/l)	DBO₅ (mg/l)	SS (mg/l)
Mínimo	20	6,7	257	128	89
Máximo	68	7,7	601	288	288
Rango o amplitud	48	1	344	160	199
Media aritmética	46	7,2	482	231	129
Desviación media	14,616	0,1972	80,0277	35,8062	30,0484
Varianza (*)	281,3	0,0660	9414,09	2062,17	2175,88
Desviación típica	16,772	0,2569	97,0262	45,4112	46,6463
Coef. de variación	36,84	3,59	20,14	19,65	36,26

Cuadro 6.30.- Fase n°2 (I. Choque): Caracterización de las cargas hidráulica y volumétricas de entrada al Reactor Biológico

Parámetro estadístico	Ch (m/h)	C.vol. DQO (Kg.DQO/m²/d)	C.vol. DBO₅ (Kg.DBO₅/m²/d)	C.vol. SS (Kg.SS/m²/d)
Mínimo	0,30	4,67	2,18	0,93
Máximo	1,03	18,56	8,65	8,89
Rango o amplitud	0,73	13,89	6,47	7,97
Media aritmética	0,69	9,89	4,72	2,78
Desviación media	0,2213	3,8331	1,7358	1,2326
Varianza (*)	0,0645	20,3076	4,3423	3,4105
Desviación típica	0,2539	4,5064	2,0838	1,8468
Coef. de variación	36,84	45,58	44,12	66,47

Cuadro 6.31.- Fase n°2 (I. Choque): Caracterización de las cargas superficiales de entrada al Reactor Biológico

Parámetro estadístico	C.sup. DQO (Kg.DQO/m²/d)	C.sup. DBO₅ (Kg.DBO₅/m²/d)	C.sup. SS (Kg.SS/m²/d)
Mínimo	3,74	1,74	0,74
Máximo	14,85	6,92	7,12
Rango o amplitud	11,11	5,17	6,37
Media aritmética	7,91	3,78	2,22
Desviación media	3,0664	1,3887	0,9861
Varianza (*)	12,9969	2,7791	2,1827
Desviación típica	3,6051	1,6671	1,4774
Coef. de variación	45,58	44,12	66,47

Cuadro 6.32.- Fase n°2 (I. Choque): Caracterización del agua tratada, a la salida del Reactor Biológico (AT1)

Parámetro estadístico	pH	DQO (mg/l)	DBO₅ (mg/l)	SS (mg/l)
Mínimo	7,1	59	2	9
Máximo	8	365	98	81
Rango o amplitud	0,9	306	96	72
Media aritmética	7,6	182	47	37
Desviación media	0,1952	78,9827	23,1419	17,7093
Varianza (*)	0,0567	8251,82	730,927	458,125
Desviación típica	0,2382	90,8395	27,0357	21,4038
Coef. de variación	3,14	49,93	57,67	57,21

Cuadro 6.33.- Fase n°2 (I. Choque): Caracterización de Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Reactor Biológico (AT1, respecto AB)

Parámetro estadístico	DQO (%)	DBO₅ (%)	SS (%)
Mínimo	31,13	63,7	36,07
Máximo	87,2	99,3	92,37
Rango o amplitud	56,07	35,6	56,31
Media aritmética	61,4	79,12	70,33
Desviación media	16,85	10,29	12,39
Varianza (*)	326,9	122,2	229,4
Desviación típica	18,08	11,05	15,15
Coef. de variación	29,45	13,97	21,54

Cuadro 6.34.- Fase n°2 (I. Choque): Caracterización de algunos parámetros referentes a la aireación en el Reactor Biológico

Parámetro estadístico	Kg. O₂ / l. agua bruta	Kg. O₂ / Kg. DBO_{5, elim}
Mínimo	0,01	4,27
Máximo	0,035	13,59
Rango o amplitud	0,025	9,33
Media aritmética	0,0182	8,13
Desviación media	0,0079	2,7050
Varianza (*)	0,0001	9,3598
Desviación típica	0,0096	3,0594
Coef. de variación	52,65	37,63

6.4.2.3.- Fase n°3: Relleno Cerámico (1.2 metros): Caudal de aire = 0,7 Kg. O₂/hora (38,75 Nm³ / m² / h. de aire)

A continuación se insertan los cuadros de datos incluidos en la relación siguiente:

Cuadro 6.35.- Fase n°3 (I. Choque): Caracterización del agua de entrada al Reactor Biológico (AB)

Cuadro 6.36.- Fase n°3 (I. Choque): Caracterización de las cargas hidráulica y volumétricas de entrada al Reactor Biológico

Cuadro 6.37.- Fase n°3 (I. Choque): Caracterización de las cargas superficiales de entrada al Reactor Biológico

Cuadro 6.38.- Fase n°3 (I. Choque): Caracterización del agua tratada, a la salida del Reactor Biológico (AT1)

Cuadro 6.39.- Fase n°3 (I. Choque): Caracterización de Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Reactor Biológico (AT1, respecto AB)

Cuadro 6.40.- Fase n°3 (I. Choque): Caracterización de algunos parámetros referentes a la aireación en el Reactor Biológico

Nota.- La varianza que aparece en todas las tablas siguientes, se define como la media de los cuadrados de las desviaciones a la media, usándose para su cálculo, la fórmula que tiene por denominador el número de miembros de la muestra (n). En consecuencia, la desviación típica se calcula a partir de dicho concepto de la varianza.

Cuadro 6.35.- Fase n°3 (I. Choque): Caracterización del agua de entrada al Reactor Biológico (AB)

Parámetro estadístico	Caudal de agua (l/h)	pH	DQO (mg/l)	DBO₅ (mg/l)	SS (mg/l)
Mínimo	20	6,8	283	160	70
Máximo	215	7,6	580	340	144
Rango o amplitud	195	0,8	297	180	74
Media aritmética	79	7,1	478	240	109
Desviación media	43,174	0,1498	63,6384	34,5440	14,6624
Varianza (*)	3121,8	0,0385	5675,16	1814,31	345,77
Desviación típica	55,873	0,1961	75,3336	42,5948	18,5948
Coef. de variación	70,30	2,75	15,76	17,75	16,99

Cuadro 6.36.- Fase n°3 (I. Choque): Caracterización de las cargas hidráulica y volumétricas de entrada al Reactor Biológico

Parámetro estadístico	Ch (m/h)	C.vol. DQO (Kg.DQO/m³/d)	C.vol. DBO₅ (Kg.DBO₅/m³/d)	C.vol. SS (Kg.SS/m³/d)
Mínimo	0,30	3,12	1,33	0,73
Máximo	3,26	29,82	15,04	7,29
Rango o amplitud	2,95	26,70	13,71	6,56
Media aritmética	1,20	11,03	5,63	2,47
Desviación media	0,6536	5,9021	3,0471	1,1967
Varianza (*)	0,7155	56,0503	15,0697	2,7405
Desviación típica	0,8459	7,4867	3,8820	1,6554
Coef. de variación	70,30	67,88	68,99	66,96

Cuadro 6.37.- Fase n°3 (I. Choque): Caracterización de las cargas superficiales de entrada al Reactor Biológico

Parámetro estadístico	C.sup. DQO (Kg.DQO/m²/d)	C.sup. DBO₅ (Kg.DBO₅/m²/d)	C.sup. SS (Kg.SS/m²/d)
Mínimo	3,74	1,60	0,87
Máximo	35,78	18,05	8,75
Rango o amplitud	32,04	16,45	7,88
Media aritmética	13,24	6,75	2,97
Desviación media	7,0825	3,6565	1,4360
Varianza (*)	80,7124	21,7003	3,9463
Desviación típica	8,9840	4,6584	1,9865
Coef. de variación	67,88	68,99	66,96

Cuadro 6.38.- Fase n°3 (I. Choque): Caracterización del agua tratada, a la salida del Reactor Biológico (AT1)

Parámetro estadístico	pH	DQO (mg/l)	DBO₅ (mg/l)	SS (mg/l)
Mínimo	7,1	79	21	8
Máximo	7,8	348	94	47
Rango o amplitud	0,7	269	73	39
Media aritmética	7,5	146	39	19
Desviación media	0,1494	53,8752	14,2304	7,7440
Varianza (*)	0,0351	4996,42	348,854	95,120
Desviación típica	0,1874	70,6854	18,6776	9,7529
Coef. de variación	2,51	48,49	47,70	50,27

Cuadro 6.39.- Fase n°3 (I. Choque): Caracterización de Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Reactor Biológico (AT1, respecto AB)

Parámetro estadístico	DQO (%)	DBO₅ (%)	SS (%)
Mínimo	24,02	59,31	51,04
Máximo	84,94	92,94	93,5
Rango o amplitud	60,92	33,63	42,45
Media aritmética	68,23	83,09	81,31
Desviación media	13,26	6,61	8,28
Varianza (*)	286,0	74,7	116,9
Desviación típica	16,91	8,64	10,81
Coef. de variación	24,78	10,40	13,30

Cuadro 6.40.- Fase n°3 (I. Choque): Caracterización de algunos parámetros referentes a la aireación en el Reactor Biológico

Parámetro estadístico	Kg. O₂ / l. agua bruta	Kg. O₂ / Kg. DBO_{5, día}
Mínimo	0,003	1,54
Máximo	0,035	14,51
Rango o amplitud	0,032	12,97
Media aritmética	0,0138	5,51
Desviación media	0,0078	2,6363
Varianza (*)	0,0001	13,0063
Desviación típica	0,0101	3,6064
Coef. de variación	73,08	65,44

6.4.2.4.- Fase n^º4: Relleno Cerámico (1.2 metros): Caudal de aire = 0.2 Kg. O₂/hora (11.2 Nm³ / m² / h. de aire)

A continuación se insertan los cuadros de datos incluidos en la relación siguiente:

Cuadro 6.41.- Fase n^º4 (I. Choque): Caracterización del agua de entrada al Reactor Biológico (AB)

Cuadro 6.42.- Fase n^º4 (I. Choque): Caracterización de las cargas hidráulica y volumétricas de entrada al Reactor Biológico

Cuadro 6.43.- Fase n^º4 (I. Choque): Caracterización de las cargas superficiales de entrada al Reactor Biológico

Cuadro 6.44.- Fase n^º4 (I. Choque): Caracterización del agua tratada, a la salida del Reactor Biológico (AT1)

Cuadro 6.45.- Fase n^º4 (I. Choque): Caracterización de Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Reactor Biológico (AT1, respecto AB)

Cuadro 6.46.- Fase n^º4 (I. Choque): Caracterización de algunos parámetros referentes a la aireación en el Reactor Biológico

Nota.- La varianza que aparece en todas las tablas siguientes, se define como la media de los cuadrados de las desviaciones a la media, usándose para su cálculo, la fórmula que tiene por denominador el número de miembros de la muestra (n). En consecuencia, la desviación típica se calcula a partir de dicho concepto de la varianza.

Cuadro 6.41.- Fase n°4 (I. Choque): Caracterización del agua de entrada al Reactor Biológico (AB)

Parámetro estadístico	Caudal de agua (l/h)	pH	DQO (mg/l)	DBO₅ (mg/l)	SS (mg/l)
Mínimo	20	6,8	342	170	60
Máximo	210	7,6	640	323	158
Rango o amplitud	190	0,8	298	153	98
Media aritmética	75	7,1	490	244	110
Desviación media	42,188	0,1660	53,4625	27,2319	20,6801
Varianza (*)	2980,1	0,0398	4720,24	1214,54	609,605
Desviación típica	54,591	0,1995	68,7040	34,8503	24,6902
Coef. de variación	72,96	2,80	14,03	14,30	22,38

Cuadro 6.42.- Fase n°4 (I. Choque): Caracterización de las cargas hidráulica y volumétricas de entrada al Reactor Biológico

Parámetro estadístico	Ch (m/h)	C.vol. DQO (Kg.DQO/m³/d)	C.vol. DBO₅ (Kg.DBO₅/m³/d)	C.vol. SS (Kg.SS/m³/d)
Mínimo	0,30	2,75	1,37	0,58
Máximo	3,18	33,64	14,94	6,90
Rango o amplitud	2,88	30,89	13,57	6,32
Media aritmética	1,13	11,10	5,51	2,35
Desviación media	0,6387	6,2695	3,1037	1,2092
Varianza (*)	0,6831	65,7088	15,6757	2,6213
Desviación típica	0,8265	8,1061	3,9593	1,6190
Coef. de variación	72,96	73,04	71,82	68,93

Cuadro 6.43.- Fase n°4 (I. Choque): Caracterización de las cargas superficiales de entrada al Reactor Biológico

Parámetro estadístico	C.sup. DQO (Kg.DQO/m²/d)	C.sup. DBO₅ (Kg.DBO₅/m²/d)	C.sup. SS (Kg.SS/m²/d)
Mínimo	3,30	1,64	0,70
Máximo	40,36	17,93	8,28
Rango o amplitud	37,07	16,29	7,58
Media aritmética	13,32	6,62	2,82
Desviación media	7,5233	3,7244	1,4511
Varianza (*)	94,6207	22,5730	3,7747
Desviación típica	9,7273	4,7511	1,9429
Coef. de variación	73,04	71,82	68,93

Cuadro 6.44.- Fase n°4 (I. Choque): Caracterización del agua tratada, a la salida del Reactor Biológico (AT1)

Parámetro estadístico	pH	DQO (mg/l)	DBO₅ (mg/l)	SS (mg/l)
Mínimo	7,2	27	7	2
Máximo	8,3	405	111	72
Rango o amplitud	1,1	378	104	70
Media aritmética	7,6	104	27	18
Desviación media	0,2088	46,6635	12,5874	10,7087
Varianza (*)	0,0690	5065,70	385,902	219,662
Desviación típica	0,2627	71,1737	19,6444	14,8210
Coef. de variación	3,45	68,14	71,57	80,94

Cuadro 6.45.- Fase n^º 4 (I. Choque): Caracterización de Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Reactor Biológico (AT1, respecto AB)

Parámetro estadístico	DQO (%)	DBO₅ (%)	SS (%)
<i>Mínimo</i>	23,44	52,77	21,74
<i>Máximo</i>	94,49	97,13	98,15
<i>Rango o amplitud</i>	71,05	44,37	76,41
<i>Media aritmética</i>	78,64	88,63	81,97
<i>Desviación media</i>	9,297	5,182	11,66
<i>Varianza (*)</i>	193,4	70,62	260,3
<i>Desviación típica</i>	13,91	8,404	16,13
<i>Coef. de variación</i>	17,68	9,48	19,68

Cuadro 6.46.- Fase n^º 4 (I. Choque): Caracterización de algunos parámetros referentes a la aireación en el Reactor Biológico

Parámetro estadístico	Kg. O₂ / l. agua bruta	Kg. O₂ / Kg. DBO_{5,05m}
<i>Mínimo</i>	0,0009	0,41
<i>Máximo</i>	0,015	3,72
<i>Rango o amplitud</i>	0,0141	3,31
<i>Media aritmética</i>	0,0050	1,59
<i>Desviación media</i>	0,0030	0,8630
<i>Varianza (*)</i>	0,0000	1,0848
<i>Desviación típica</i>	0,0039	1,0415
<i>Coef. de variación</i>	77,18	65,58

6.4.3.- Estudio, por fases, de las cargas de trabajo admisibles

1) Fase 1ª: Relleno Cerámico (0,8 metros): caudal de aire = 0,2 Kg. O₂ / hora (11,2 Nm³ / m² / hora, de aire)

1.a) DBO.- El total de muestras de salida analizadas no lograron superar el umbral mínimo marcado por la Dir. 91/271 CEE, tanto para rendimientos como niveles de salida.

1.b) SS.- La Carga hidráulica admisible es de 0,57 m/h (obtenida para el límite de rendimientos marcado por la Directiva) y la Carga vol. SS, de 1,75 Kg.SS / m³ / d (también obtenida en rendimientos), para lograr efluentes con Rdto.(SS) > 90 %. Estas cargas supondrían unos SS_{entrada} de 102 mg/l, algo inferiores a los presentes en las muestras de agua bruta de esta investigación (tras una decantación primaria), y un Tr (tiempo de retención) aproximado de 1,4 horas, con lo que, en el caso hipotético, aunque improbable, de utilización sólo para eliminación de SS, habría que fijar la Carga vol. SS, máx. y reducir la carga hidráulica, con lo que el tiempo de retención aumentaría.

2) Fase 2ª: Relleno Cerámico (0.8 metros): caudal de aire = 0.7 Kg. O₂ / hora (38.75 Nm³ / m² / hora. de aire)

2.a) DBO.- Observando las curvas de ajuste que representan la DBO de salida, se aprecia una Carga vol. DBO, máx.= 1,9 Kg.DBO / m³ / d (obtenida en base al nivel de salida máximo exigido), para alcanzar una DBO < 25 mg/l. Por otra parte, se tiene una C_{h, máx.} = 0,38 m/h (también obtenida conforme a la limitación de los niveles de salida), para alcanzar igualmente dicho umbral. Esta carga volumétrica y esta carga hidráulica aparecen simultáneamente para una DBO_{entrada} = 167 mg/l. Por tanto, si se tiene una DBO_{entrada} > 167 mg/l (como cabe esperar), significa que, en el caso de diseño de un lecho inundado con las condiciones de esta fase, hemos de fijar la C vol. DBO, máx. y reducir la carga hidráulica.

2.b) SS.- La Carga hidráulica admisible es de 0,56 m/h (obtenida según las exigencias de rendimientos mínimos exigidos) y la Carga vol. SS , de 1,27 Kg.SS / m³ / d (también se obtiene en base a los rendimientos), para lograr efluentes con Rdto.(SS) > 90 %. Estas cargas se tienen simultáneamente para SS = 75 mg / l. Como cabe esperar unos SS superiores, habría que disminuir la carga hidráulica (también vendría motivada por las restricciones en eliminación de DBO), con lo que ésta tomaría valores muy reducidos.

3) Fase 3ª: Relleno Cerámico (1,2 metros); caudal de aire = 0,7 Kg. O₂ / hora (38,75 Nm³ / m² / hora, de aire)

3.a) DBO.- Observando las curvas de ajuste que representan la DBO de salida, se aprecia una Carga vol. DBO, máx.= 1,23 Kg.DBO / m³ / d (conforme a la limitación correspondiente a los niveles de salida máximos permitidos), para alcanzar efluentes con DBO < 25 mg/l. Por otra parte, se tiene una $C_{h,máx} = 0,337$ m/h (también en base a niveles de salida), para alcanzar igualmente dicho umbral. Esta carga volumétrica y esta carga hidráulica aparecen simultáneamente para una $DBO_{entrada} = 181$ mg / l. Por tanto, si se tiene una $DBO_{entrada} > 181$ mg / l (como cabe esperar), significa que, en el caso de diseño de un lecho inundado con las condiciones de esta fase, hemos de fijar la Carga vol. DBO, máx. y reducir la carga hidráulica.

3.b) SS.- La Carga hidráulica admisible es de 1,52 m/h (obtenida según las exigencias de rendimientos mínimos exigidos) y la Carga vol. SS, de 2,8 Kg.SS / m³ / d (también se obtiene en base a los rendimientos). Dada la enorme diferencia de cargas hidráulicas admisibles, queda claro que la eliminación de DBO, para esta fase, siempre será más restrictiva para el diseño, y el funcionamiento, en cuanto a eliminación de SS, se encontrará en rangos de carga de entrada asociados a valores de salida bastante óptimos.

3.c) Si el objetivo único del sistema fuera la eliminación de SS, sería necesario reducir la carga hidráulica, pues para $SS_{\text{entrada}} > 92 \text{ mg / l}$ (lo cual es previsible), se superaría la Carga vol. máx. SS, de $2,8 \text{ Kg.SS / m}^3 / \text{d}$.

4) Fase 4ª: Relleno Cerámico (1,2 metros); caudal de aire = $0,2 \text{ Kg. O}_2 / \text{hora}$ ($11,2 \text{ Nm}^3 / \text{m}^2 / \text{hora, de aire}$)

4.a) DBO.- Observando las curvas de ajuste que representan la DBO de salida, se aprecia una Carga vol. DBO, máx.= $6,3 \text{ Kg.DBO / m}^3 / \text{d}$ (conforme a la limitación correspondiente a los niveles de salida máximos permitidos), para alcanzar efluentes con $\text{DBO} < 25 \text{ mg/l}$. Por otra parte, se tiene una $C_{h, \text{máx.}} = 1,27 \text{ m / h}$ (también obtenida conforme a la limitación de los niveles de salida), para alcanzar igualmente dicho umbral. Esta carga volumétrica y esta carga hidráulica aparecen simultáneamente para una $\text{DBO}_{\text{entrada}} = 248 \text{ mg/l}$. Por tanto, si se tiene una $\text{DBO}_{\text{entrada}} > 248 \text{ mg/l}$ significa que, en el caso de diseño de un lecho inundado con las condiciones de esta fase, hemos de fijar la Carga vol. DBO, máx. y reducir la carga hidráulica.

4.b) SS.- La Carga hidráulica admisible es de $2,04 \text{ m/h}$ (obtenida según las exigencias de rendimientos mínimos exigidos) y la carga vol. SS, de $4 \text{ Kg.SS / m}^3 / \text{d}$ (también se obtiene en base a los rendimientos). De

nuevo, dada la enorme diferencia de cargas hidráulicas admisibles, queda claro que la eliminación de DBO, para esta fase, siempre será más restrictiva para el diseño, y el funcionamiento en cuanto a eliminación de SS, se encontrará en rangos de carga asociados a valores de salida bastante óptimos, pues para una Carga hidráulica de 1,27 m/h (la máxima admisible para DBO), se tiene unos $SS_{\text{entrada,máx}} = 157 \text{ mg/l}$; tras una decantación primaria, por norma general, esta concentración será suficientemente alta para garantizar unos SS_{entrada} al Reactor Biológico, compatibles con las cargas que éste tolera, en relación a los SS.

4.c) Si el objetivo único del sistema fuera la eliminación de SS, sería necesario reducir la carga hidráulica, pues para $SS_{\text{entrada}} > 98 \text{ mg/l}$ (lo cual es previsible en un agua residual urbana), se superaría la Carga vol. SS máx., de $4 \text{ Kg.SS} / \text{m}^3 / \text{d}$.

6.4.4.- Presentación gráfica de la relación entre variables y parámetros

En este apartado, se recogen los gráficos relacionados a continuación:

Gráfico 6.9.- Fase nº1 (I. Choque): Carga vol. DBO / DBO de salida

Gráfico 6.10.- Fase nº1 (I. Choque): Carga vol. SS / SS de salida

- Gráfico 6.11.- Fase n^o1 (I. Choque): Carga hidráulica / DBO de salida
- Gráfico 6.12.- Fase n^o1 (I. Choque): Carga hidráulica / SS de salida
- Gráfico 6.13.- Fase n^o1 (I. Choque): Carga vol. DBO / Rendimiento de DBO
- Gráfico 6.14.- Fase n^o1 (I. Choque): Carga vol. SS / Rendimiento de SS
- Gráfico 6.15.- Fase n^o1 (I. Choque): Carga hidráulica / Rendimiento de DBO
- Gráfico 6.16.- Fase n^o1 (I. Choque): Carga hidráulica / Rendimiento de SS
- Gráfico 6.17.- Fase n^o2 (I. Choque): Carga vol. DBO / DBO de salida
- Gráfico 6.18.- Fase n^o2 (I. Choque): Carga vol. SS / SS de salida
- Gráfico 6.19.- Fase n^o2 (I. Choque): Carga hidráulica / DBO de salida
- Gráfico 6.20.- Fase n^o2 (I. Choque): Carga hidráulica / SS de salida
- Gráfico 6.21.- Fase n^o2 (I. Choque): Carga vol. DBO / Rendimiento de DBO
- Gráfico 6.22.- Fase n^o2 (I. Choque): Carga vol. SS / Rendimiento de SS
- Gráfico 6.23.- Fase n^o2 (I. Choque): Carga hidráulica / Rendimiento de DBO
- Gráfico 6.24.- Fase n^o2 (I. Choque): Carga hidráulica / Rendimiento de SS
- Gráfico 6.25.- Fase n^o3 (I. Choque): Carga vol. DBO / DBO de salida
- Gráfico 6.26.- Fase n^o3 (I. Choque): Carga vol. SS / SS de salida
- Gráfico 6.27.- Fase n^o3 (I. Choque): Carga hidráulica / DBO de salida
- Gráfico 6.28.- Fase n^o3 (I. Choque): Carga hidráulica / SS de salida
- Gráfico 6.29.- Fase n^o3 (I. Choque): Carga vol. DBO / Rendimiento de DBO
- Gráfico 6.30.- Fase n^o3 (I. Choque): Carga vol. SS / Rendimiento de SS
- Gráfico 6.31.- Fase n^o3 (I. Choque): Carga hidráulica / Rendimiento de DBO
- Gráfico 6.32.- Fase n^o3 (I. Choque): Carga hidráulica / Rendimiento de SS
- Gráfico 6.33.- Fase n^o4 (I. Choque): Carga vol. DBO / DBO de salida
- Gráfico 6.34.- Fase n^o4 (I. Choque): Carga vol. SS / SS de salida
- Gráfico 6.35.- Fase n^o4 (I. Choque): Carga hidráulica / DBO de salida
- Gráfico 6.36.- Fase n^o4 (I. Choque): Carga hidráulica / SS de salida
- Gráfico 6.37.- Fase n^o4 (I. Choque): Carga vol. DBO / Rendimiento de DBO
-

Gráfico 6.38.- Fase n^º4 (I. Choque): Carga vol. SS / Rendimiento de SS

Gráfico 6.39.- Fase n^º4 (I. Choque): Carga hidráulica / Rendimiento de DBO

Gráfico 6.40.- Fase n^º4 (I. Choque): Carga hidráulica / Rendimiento de SS

Gráfico 6.41.- Comparación entre Fases (I. Choque): Rendimientos medios de DBO

Gráfico 6.42.- Comparación entre Fases (I. Choque): Rendimientos medios de SS

Gráfico 6.43.- Comparación entre Fases (I. Choque): Niveles medios de salida de DBO

Gráfico 6.44.- Comparación entre Fases (I. Choque): Niveles medios de salida de SS

Gráfico 6.45.- Conformidad con la Directiva 91/271 CEE (I. Choque): Rendimientos de DBO

Gráfico 6.46.- Conformidad con la Directiva 91/271 CEE (I. Choque): Rendimientos de SS

Gráfico 6.47.- Conformidad con la Directiva 91/271 CEE (I. Choque): Niveles de salida de DBO

Gráfico 6.48.- Conformidad con la Directiva 91/271 CEE (I. Choque): Niveles de salida de SS

Nota. - La comparativa de los resultados obtenidos con la Directiva 91/271 CEE, en lo que se refiere a rendimientos, es indicativa del funcionamiento de los sistemas experimentados, pero la introducción de una variable más o menos incontrolada, como es el funcionamiento del tratamiento primario, cobra más relevancia, ya que aquéllos se calculan, directamente, por diferencia con los datos del agua de entrada a la E.D. donde se ubicaron las plantas piloto.

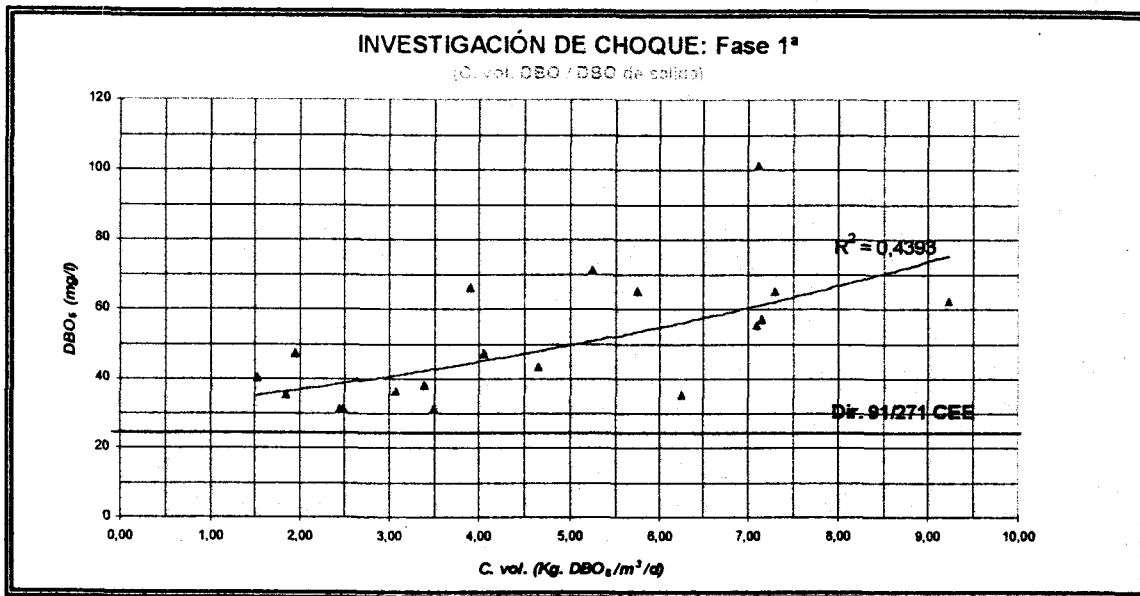


Gráfico 6.9

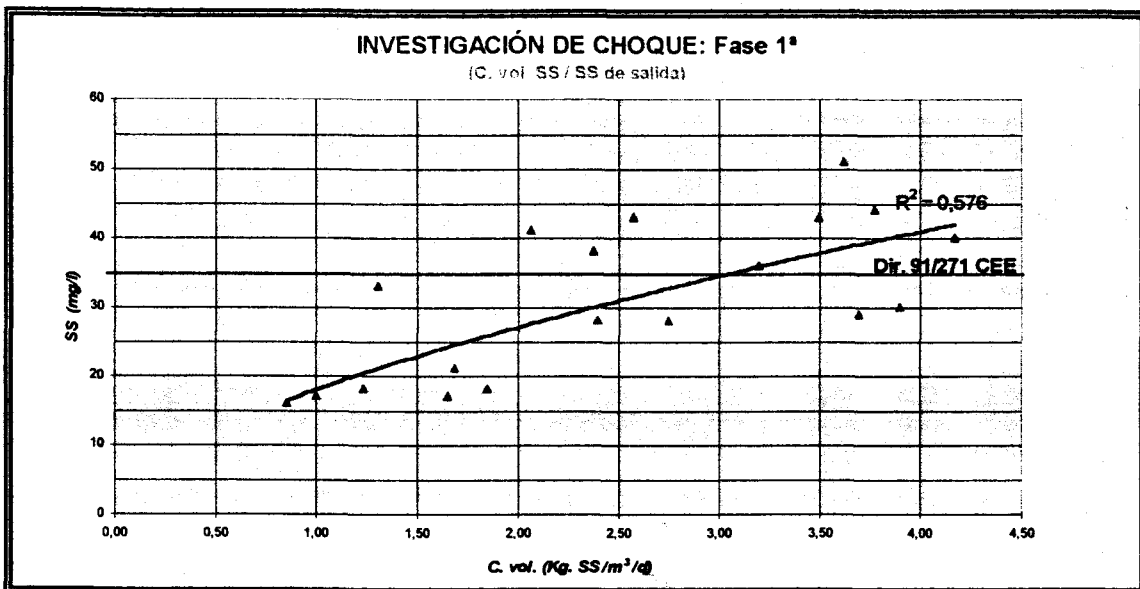


Gráfico 6.10

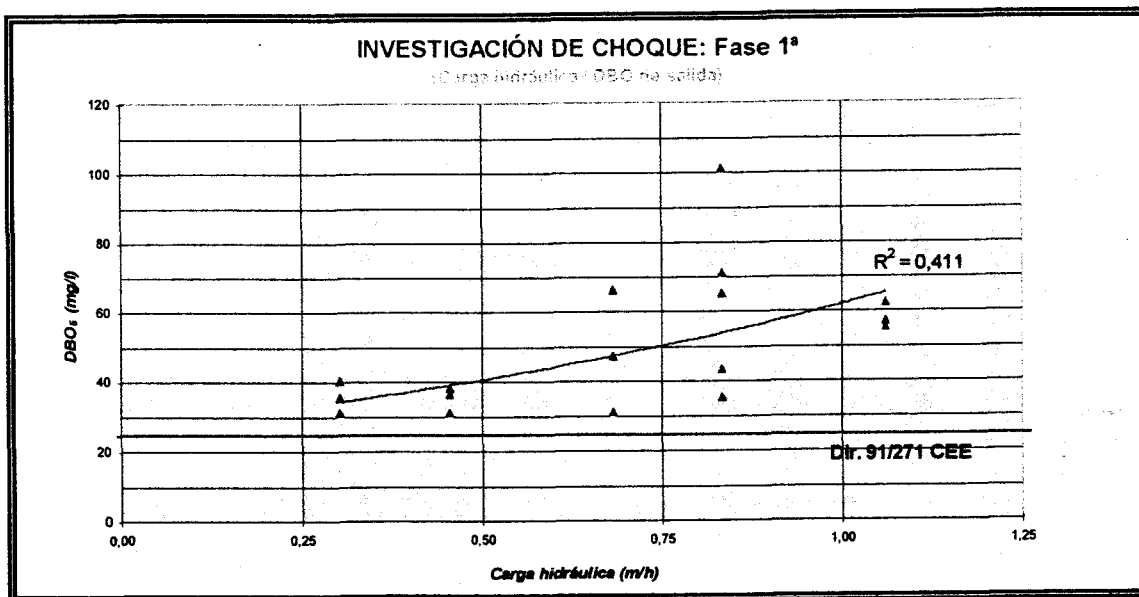


Gráfico 6.11

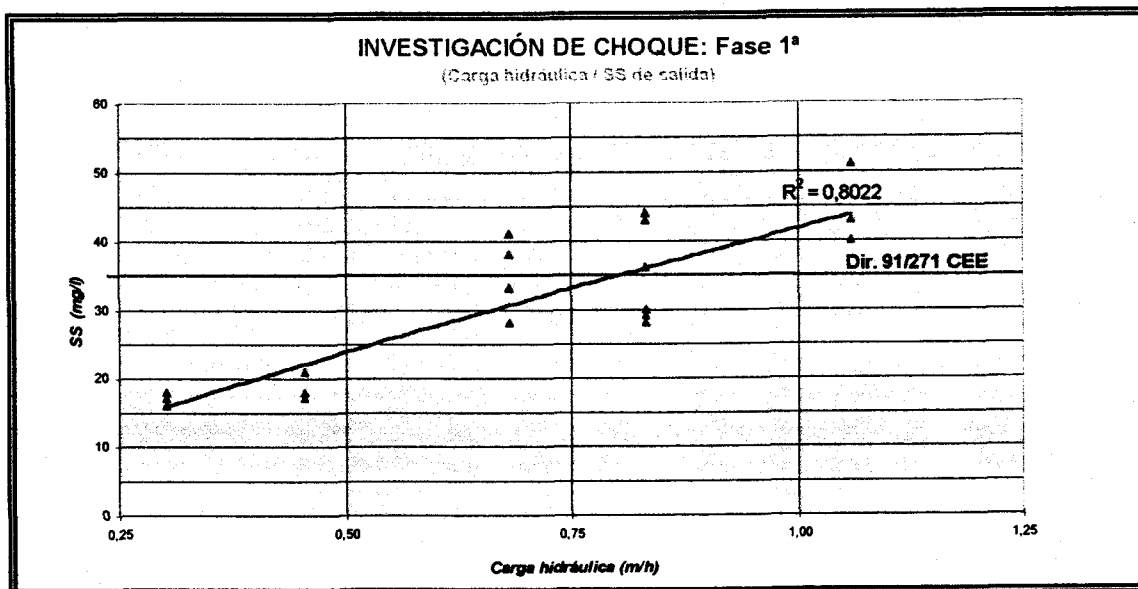


Gráfico 6.12

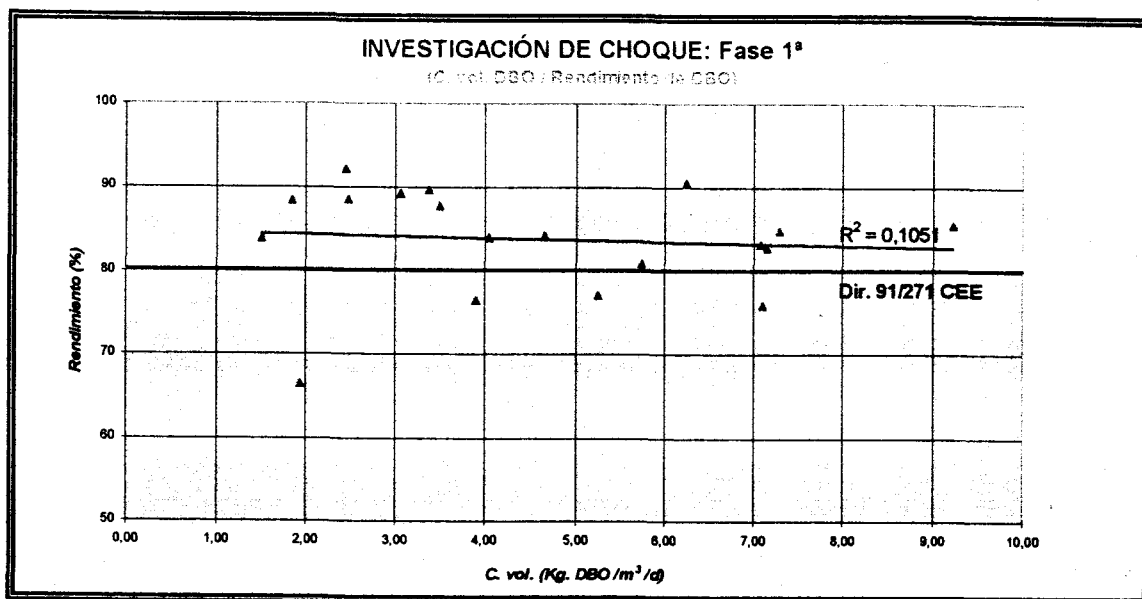


Gráfico 6.13

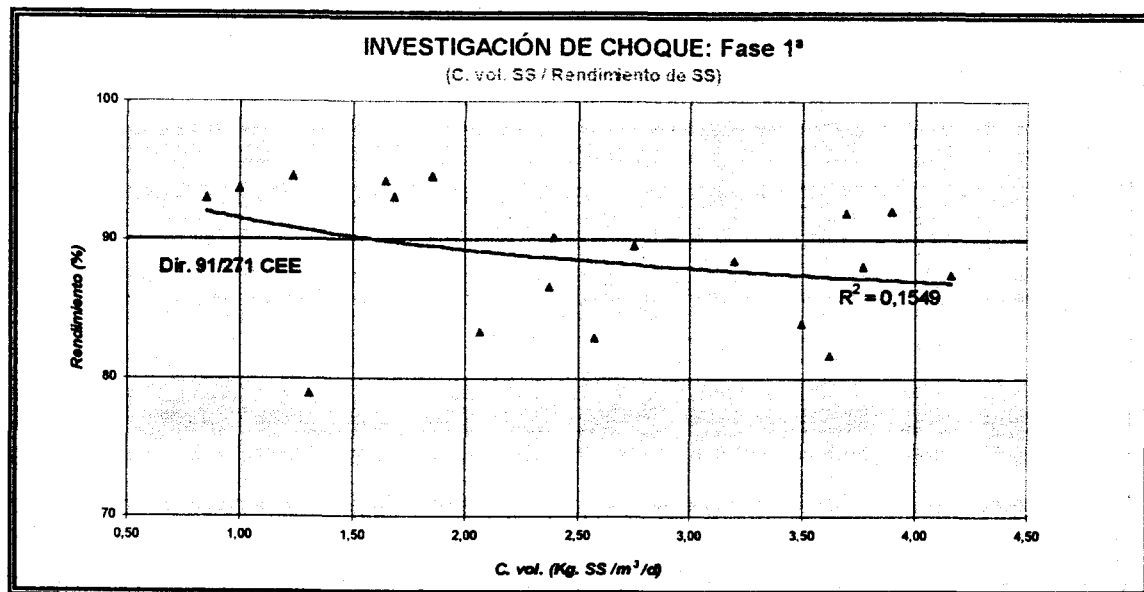


Gráfico 6.14

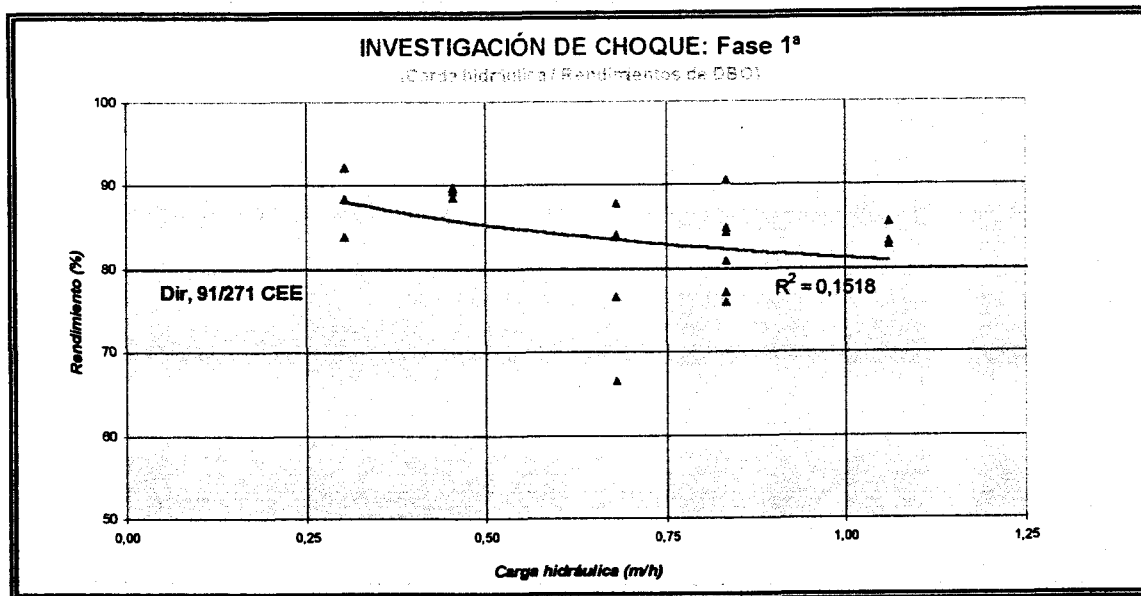


Gráfico 6.15

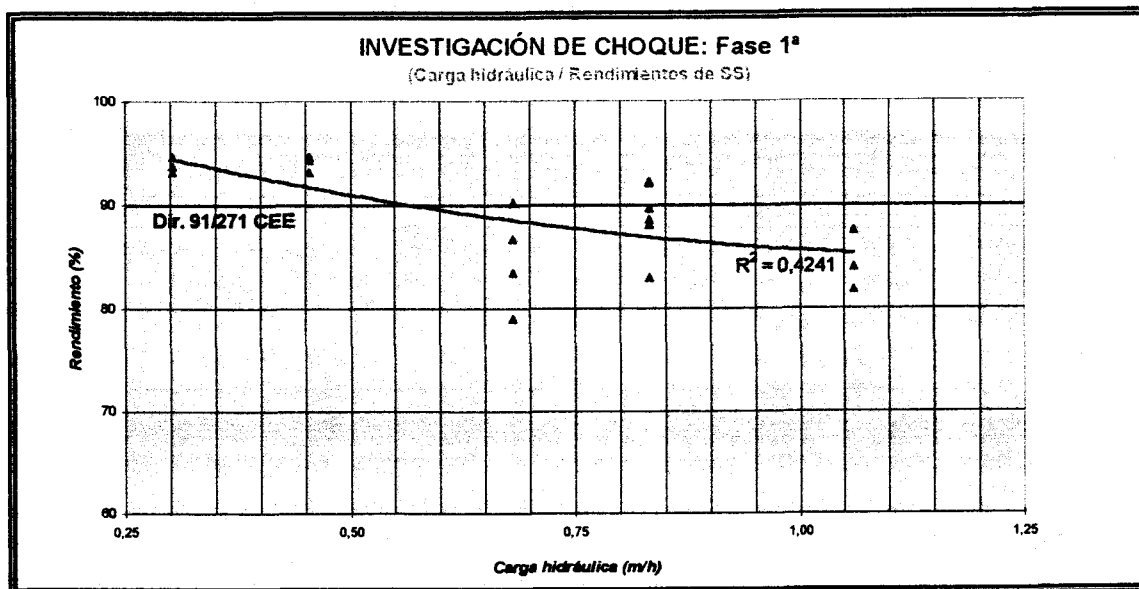


Gráfico 6.16

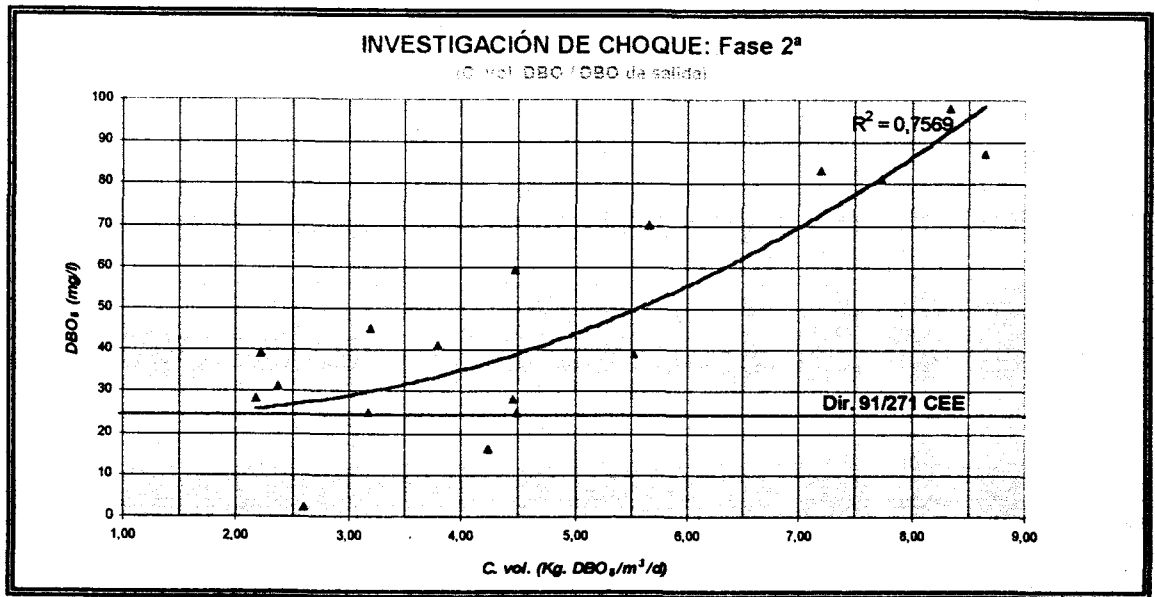


Gráfico 6.17

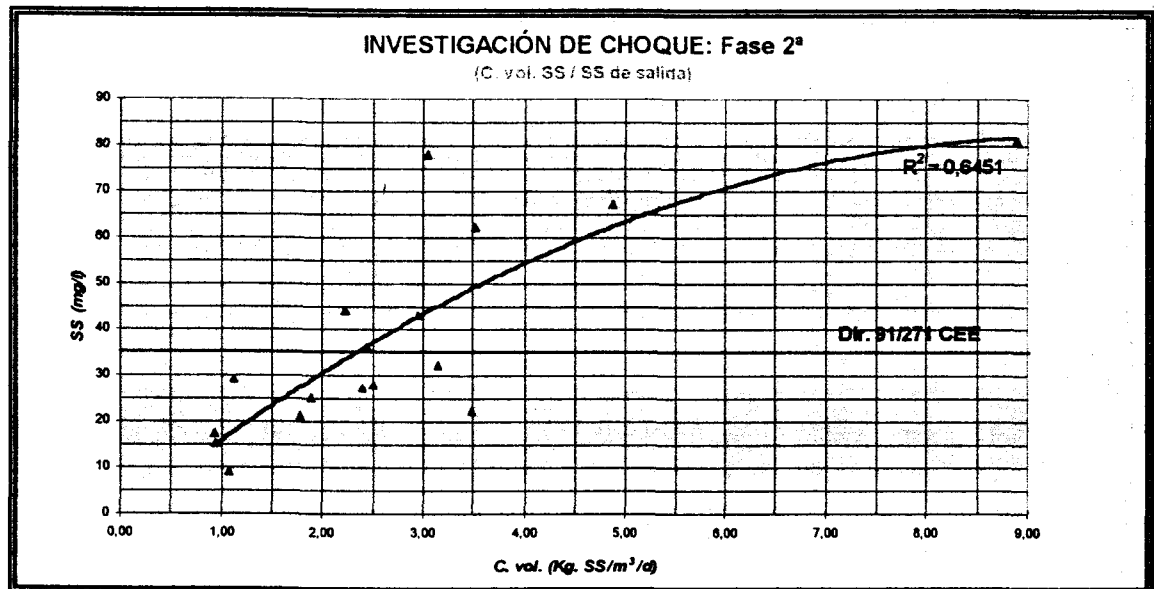


Gráfico 6.18

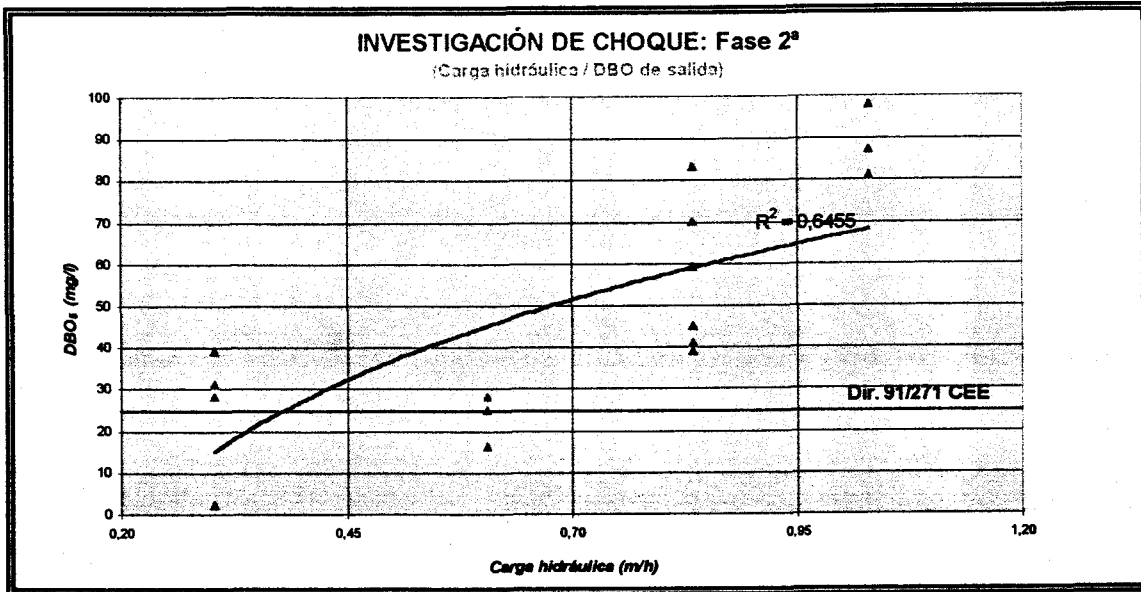


Gráfico 6.19

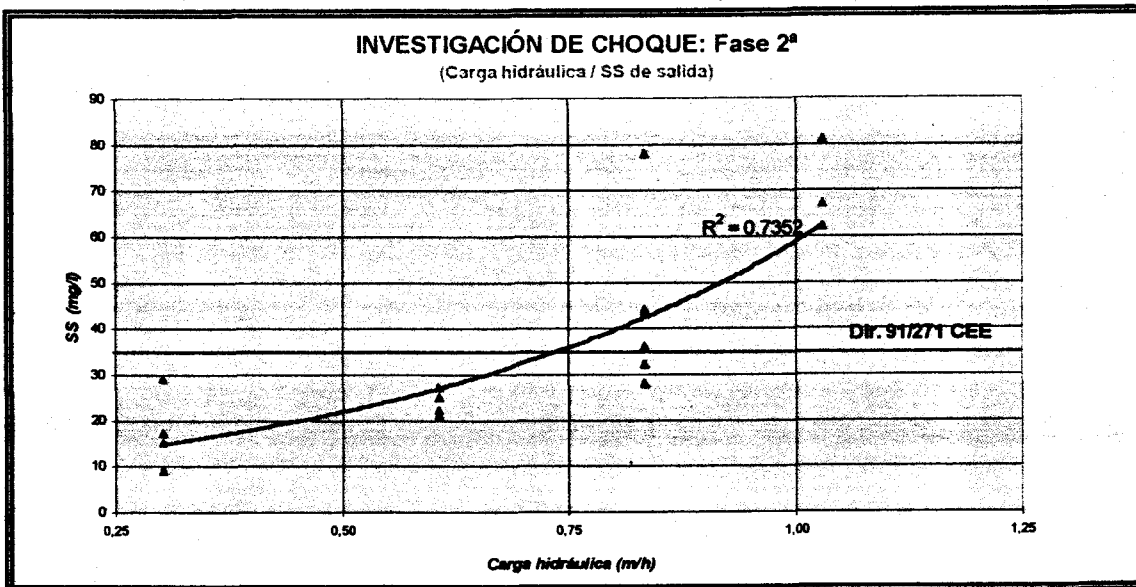


Gráfico 6.20

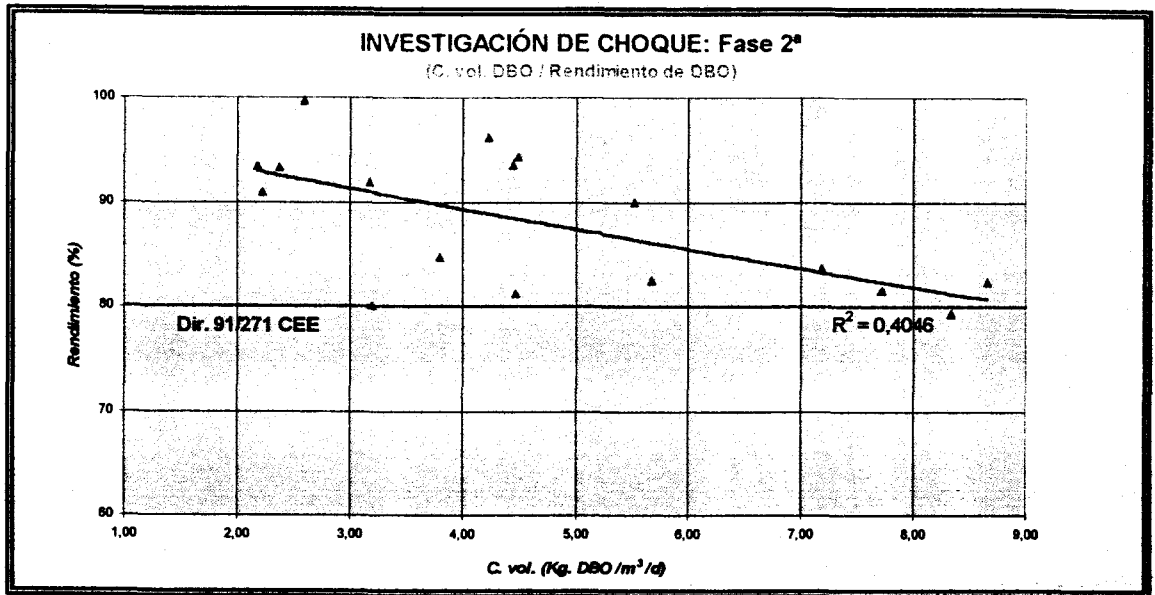


Gráfico 6.21

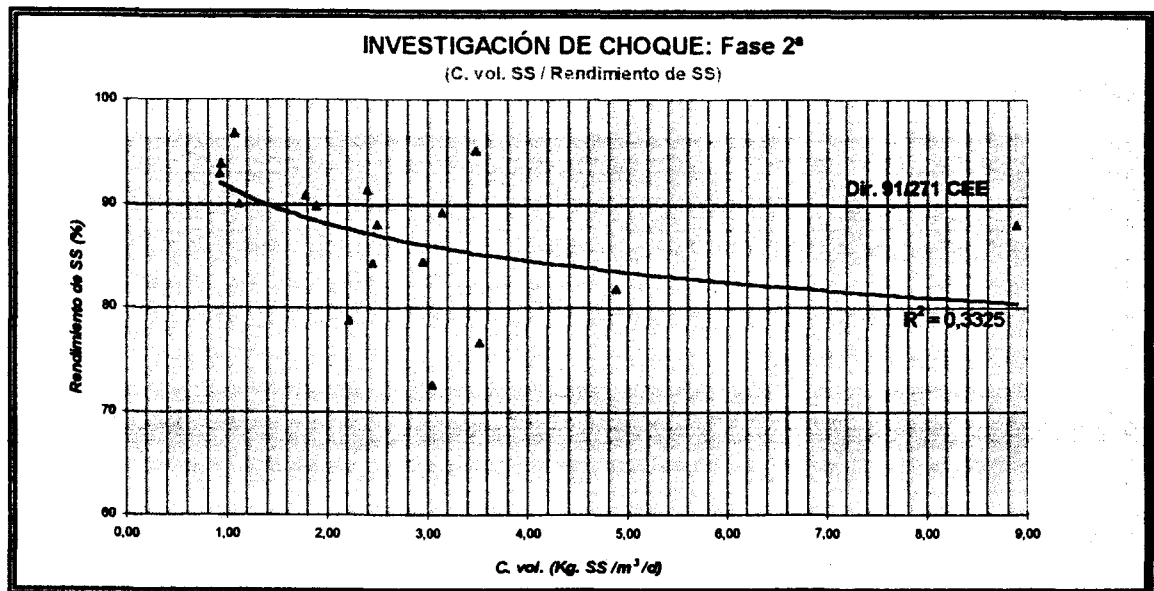


Gráfico 6.22

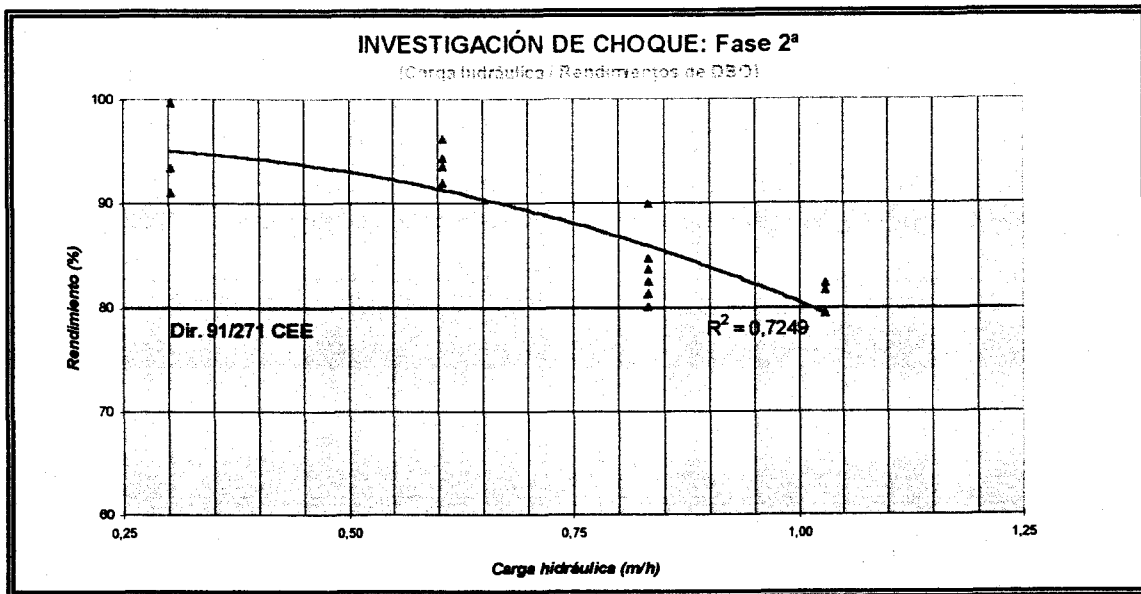


Gráfico 6.23

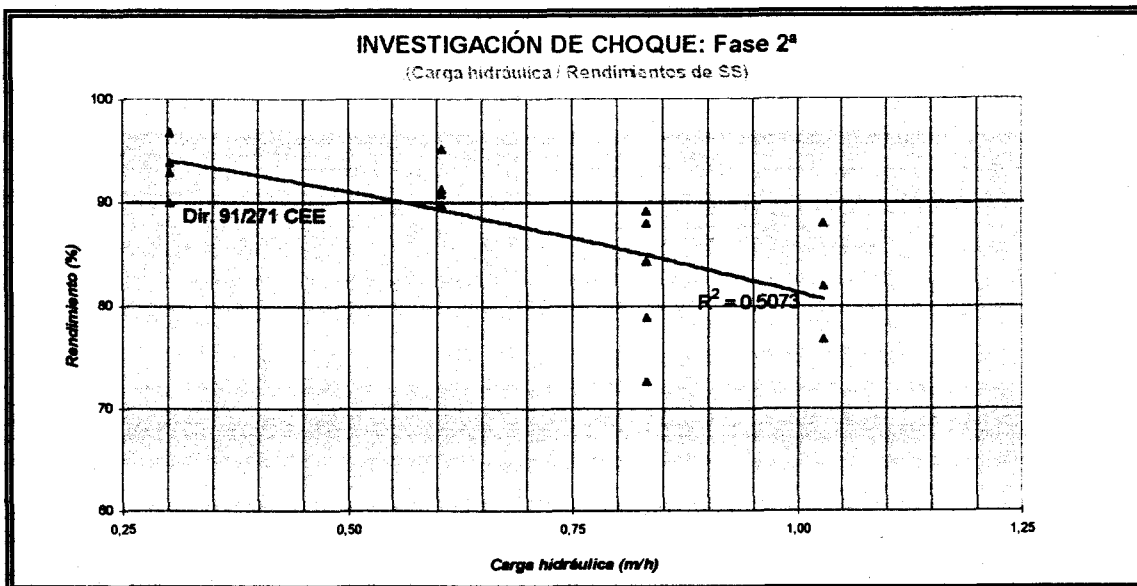


Gráfico 6.24

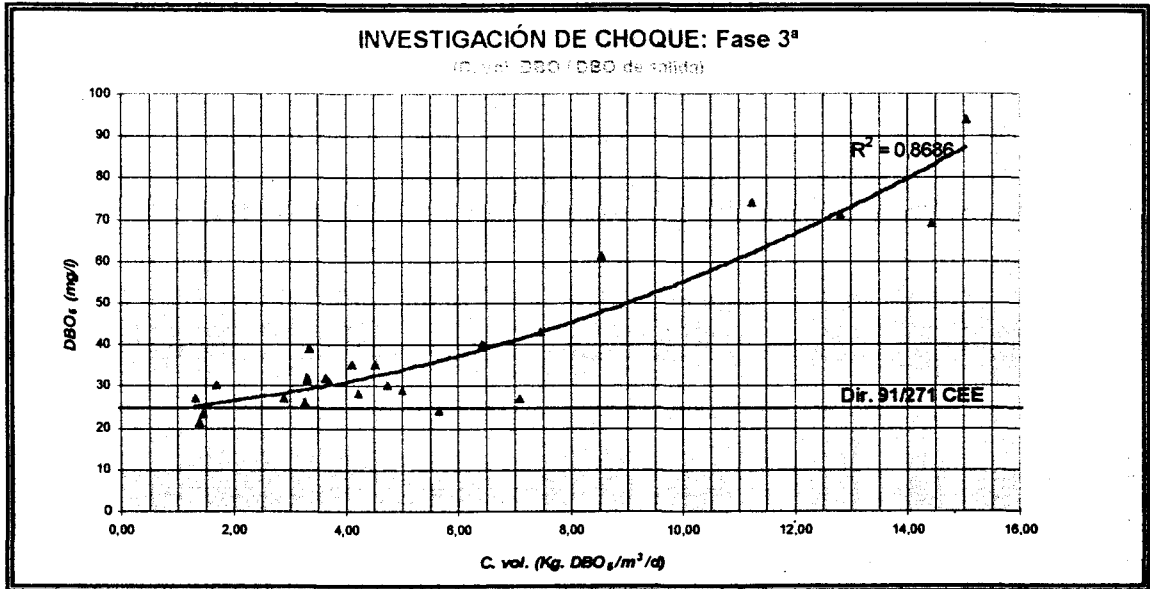


Gráfico 6.25

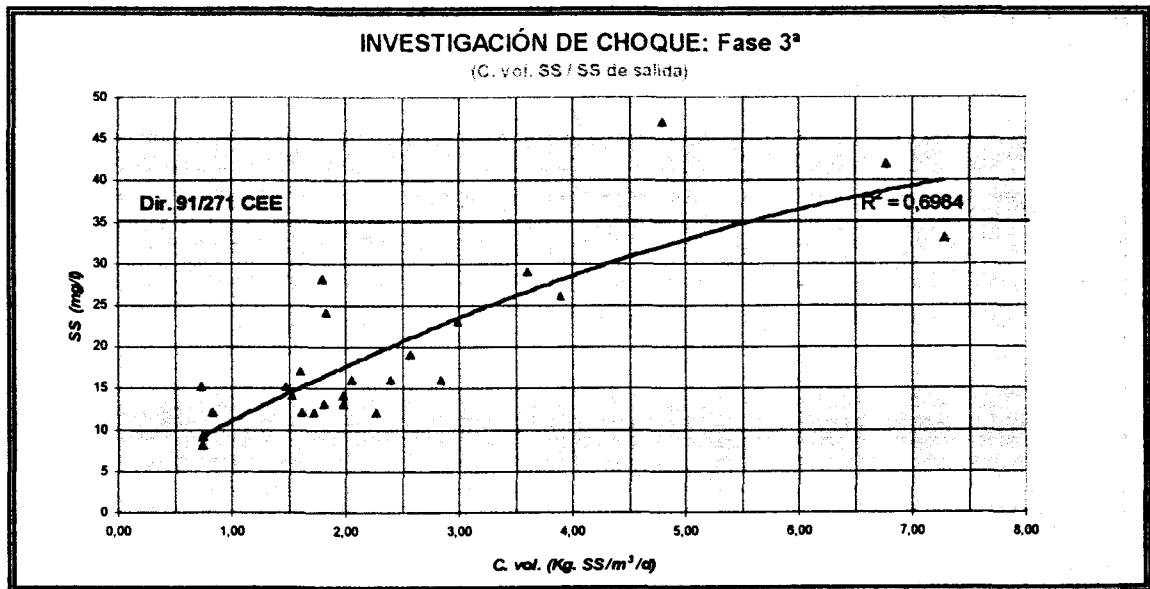


Gráfico 6.26

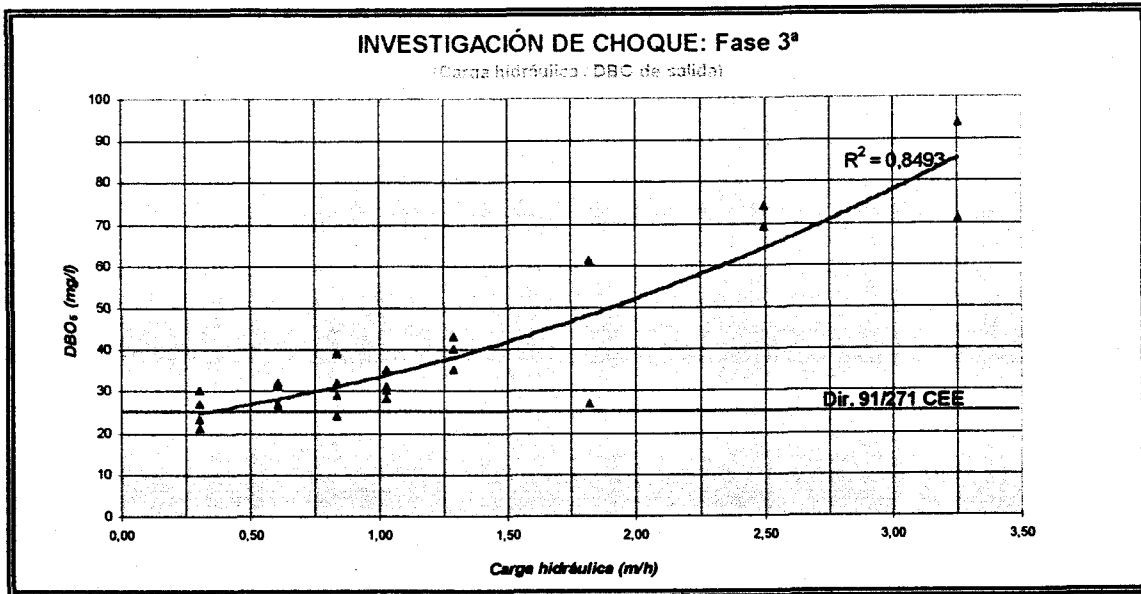


Gráfico 6.27

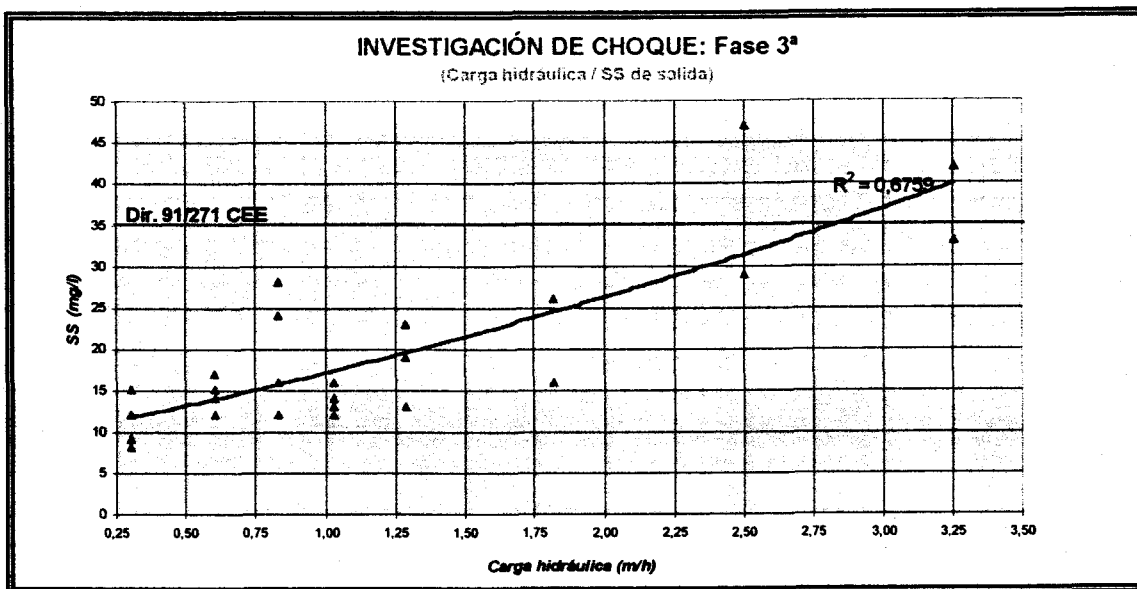


Gráfico 6.28

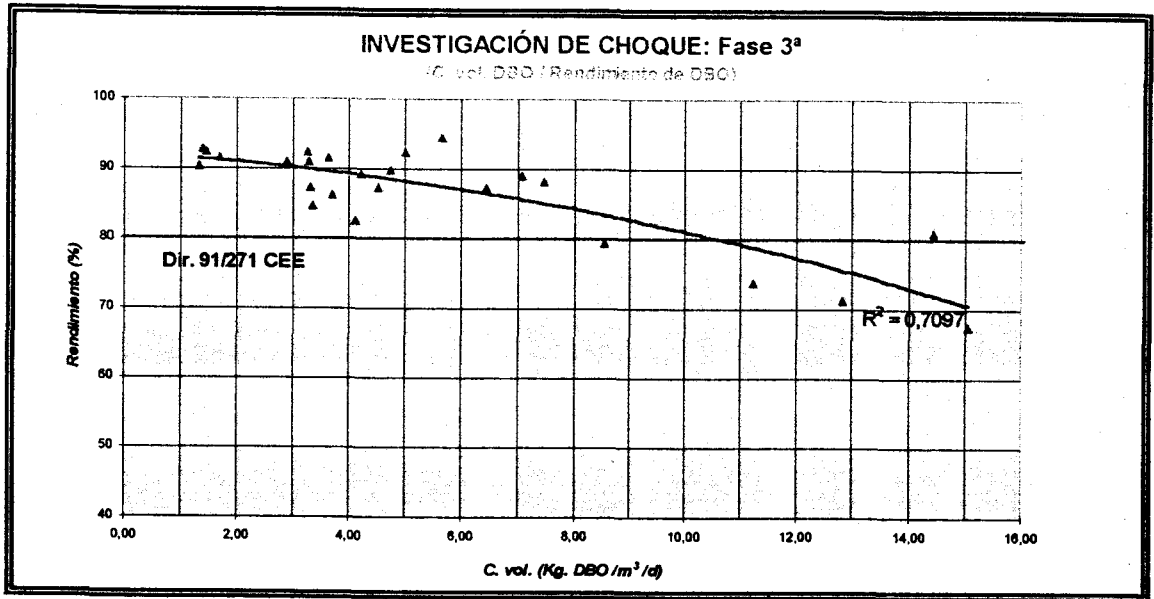


Gráfico 6.29

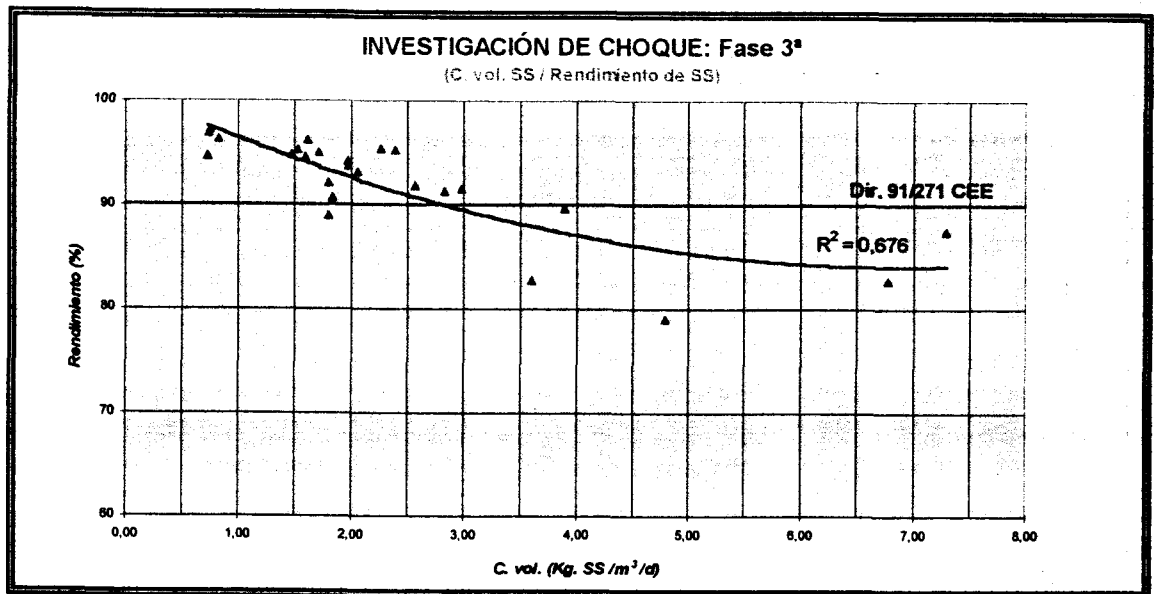


Gráfico 6.30

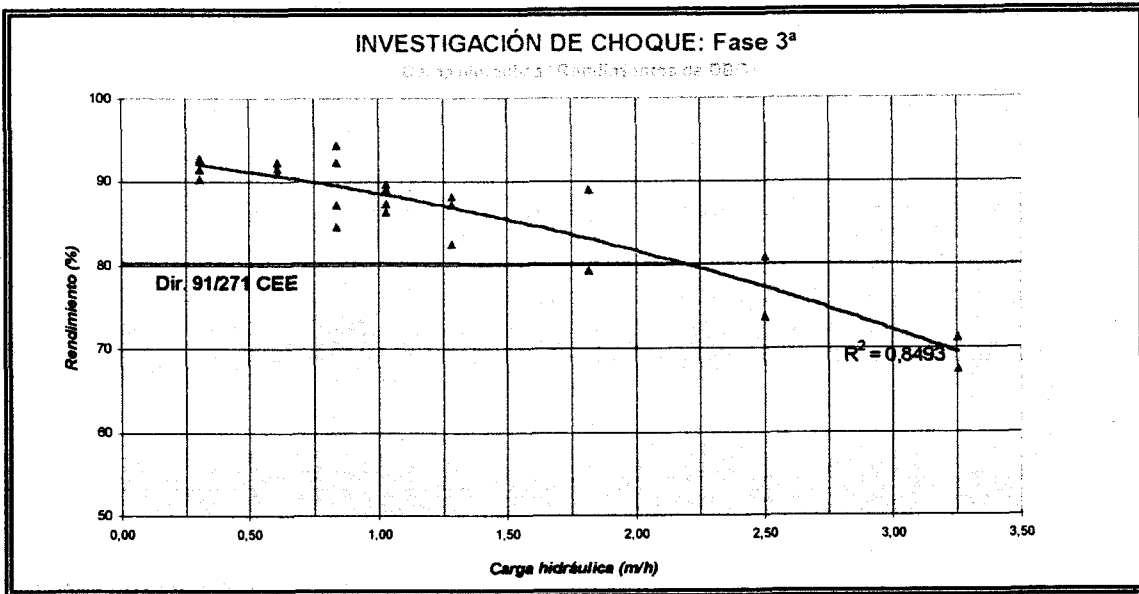


Gráfico 6.31

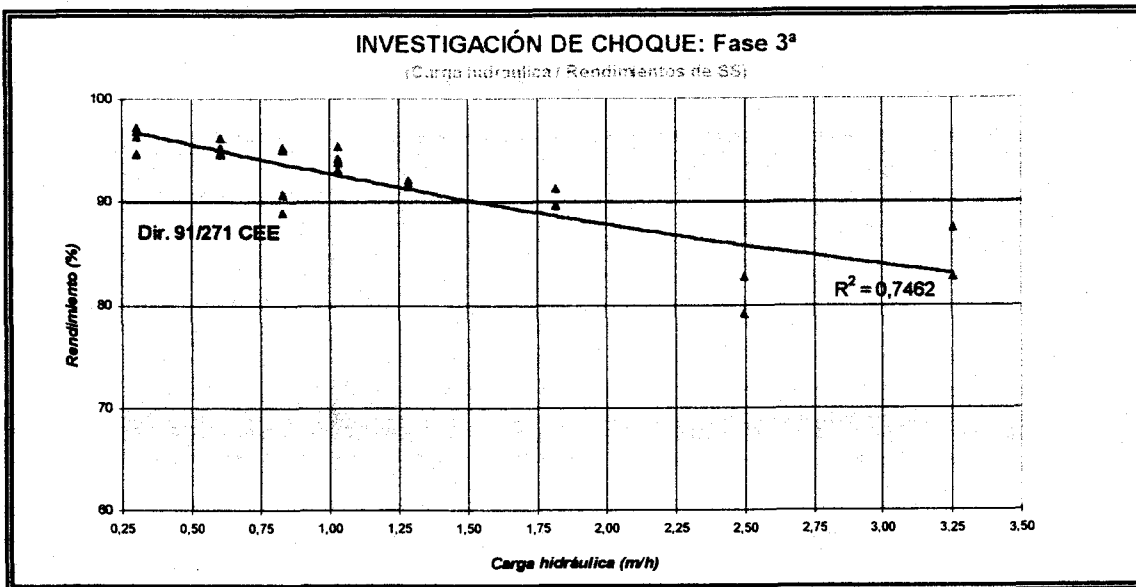


Gráfico 6.32

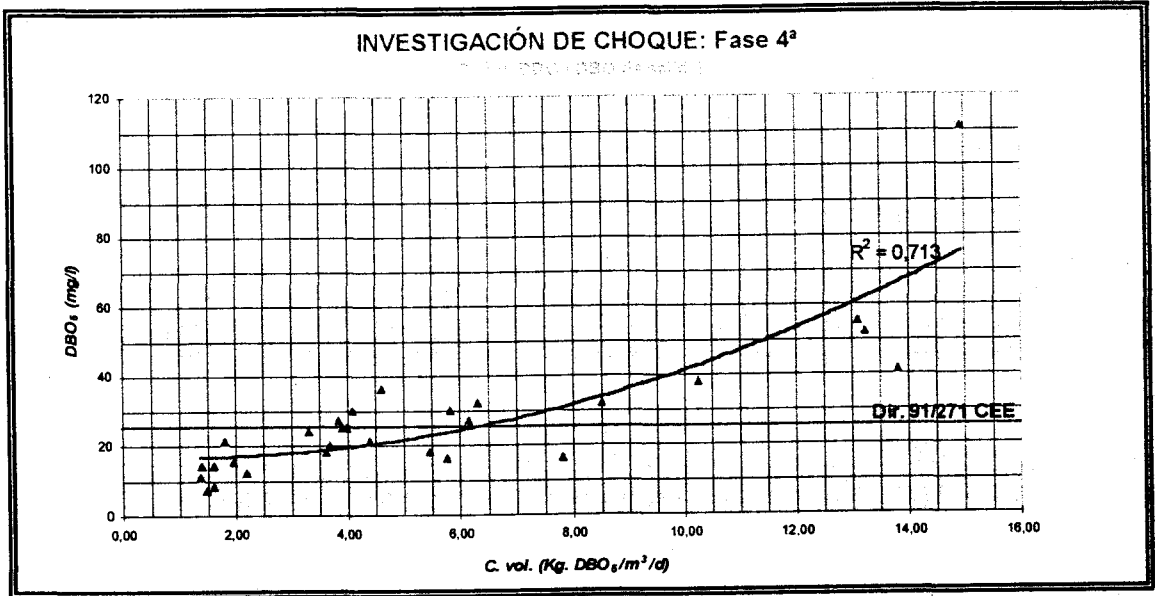


Gráfico 6.33

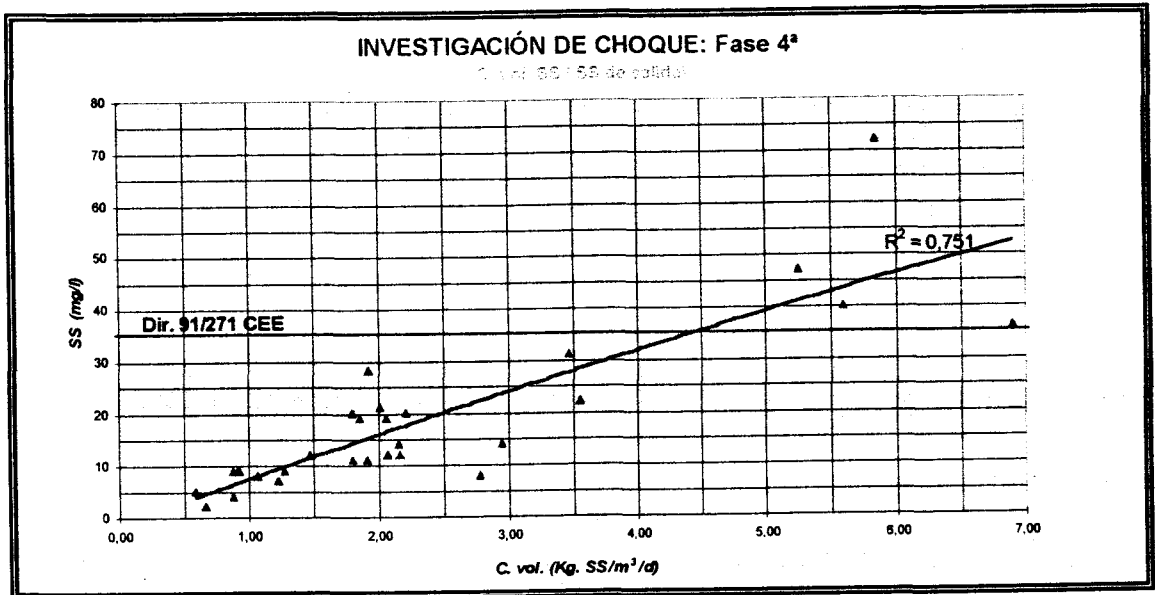


Gráfico 6.34

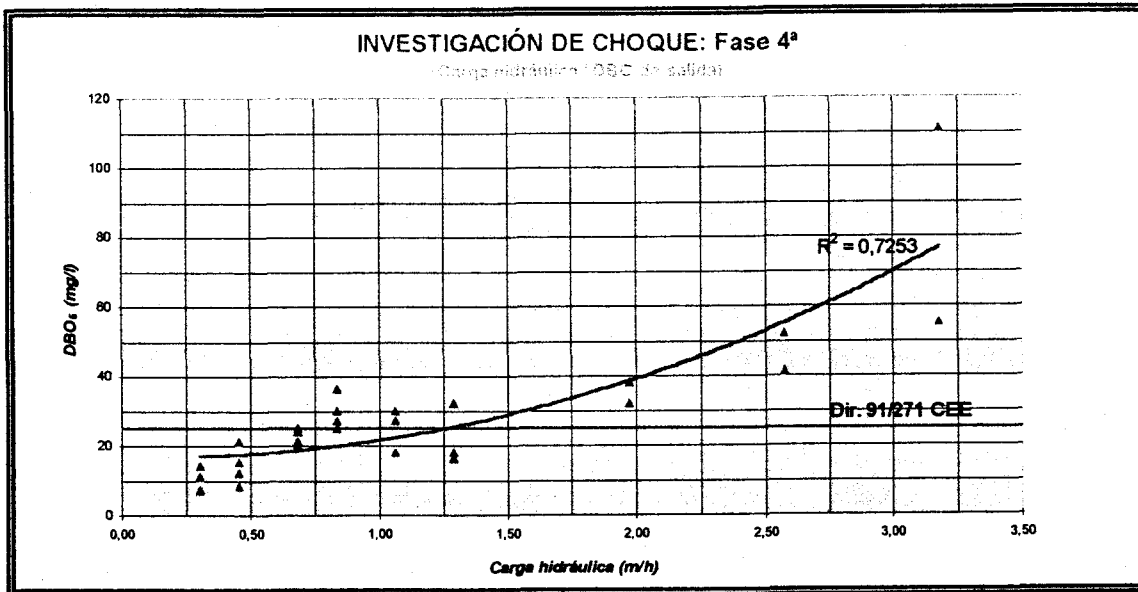


Gráfico 6.35

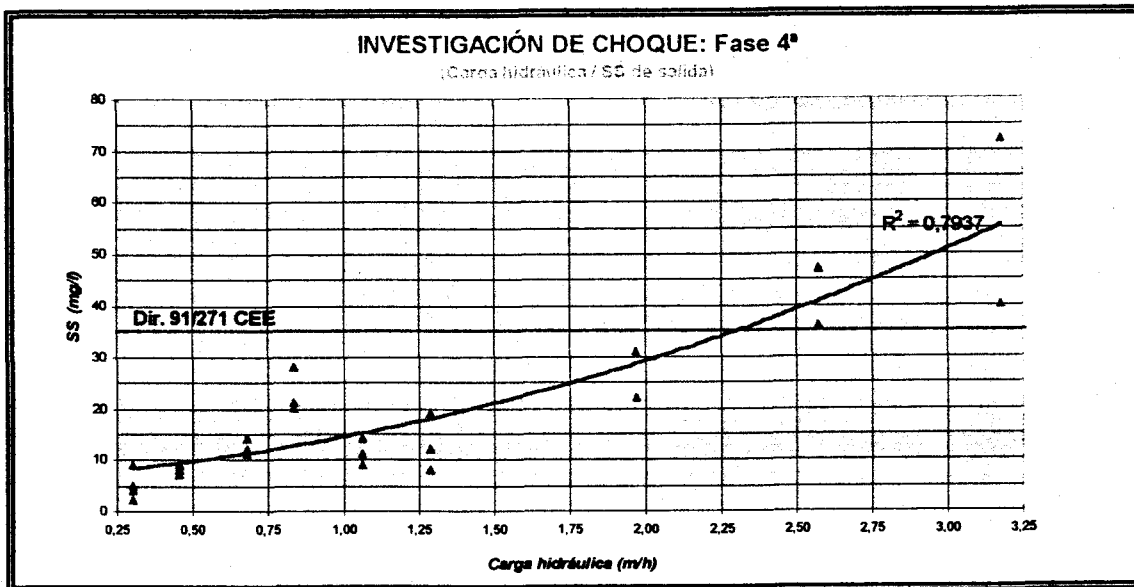


Gráfico 6.36

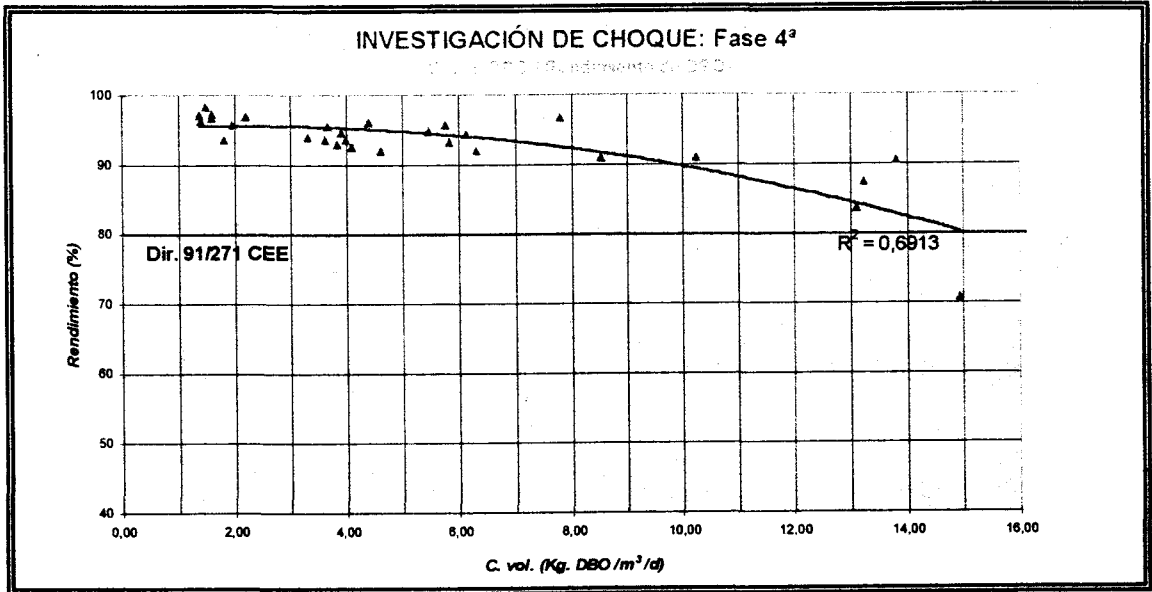


Gráfico 6.37

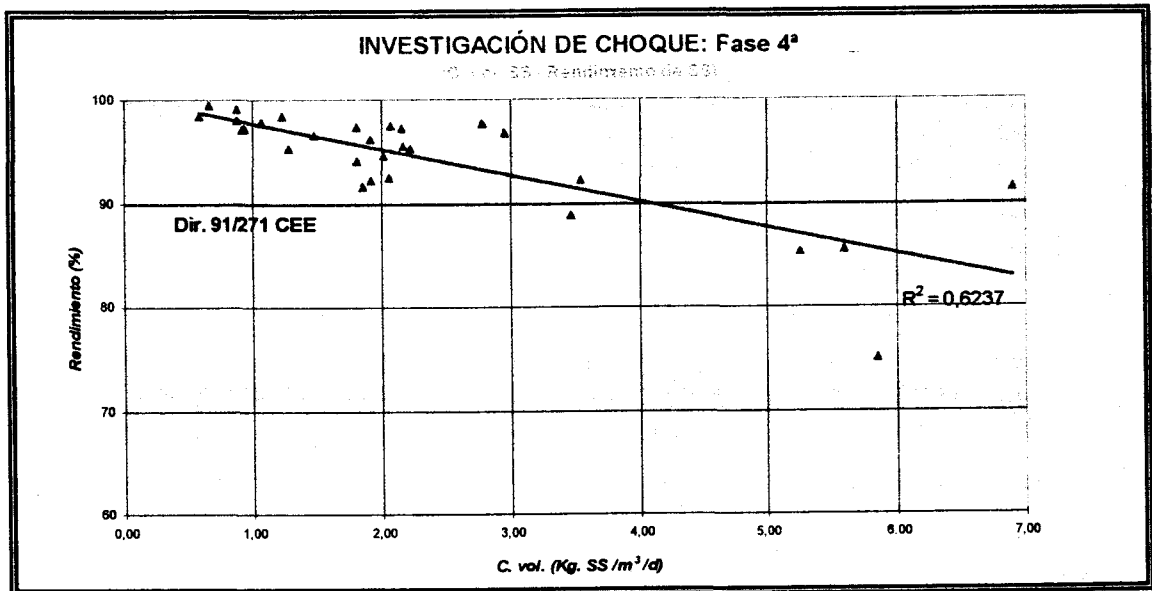


Gráfico 6.38

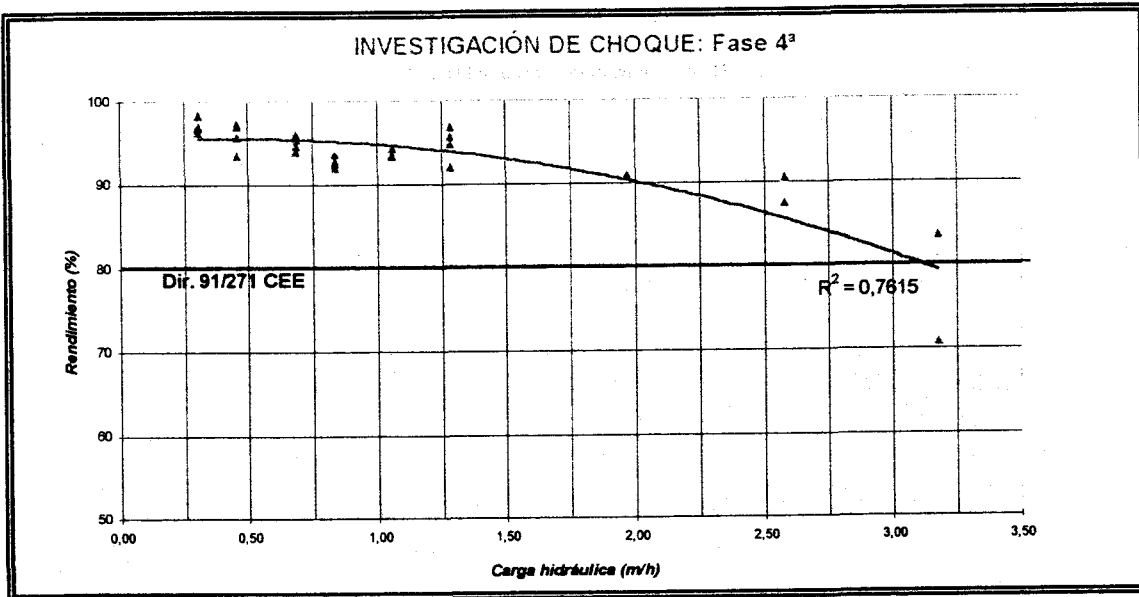


Gráfico 6.39

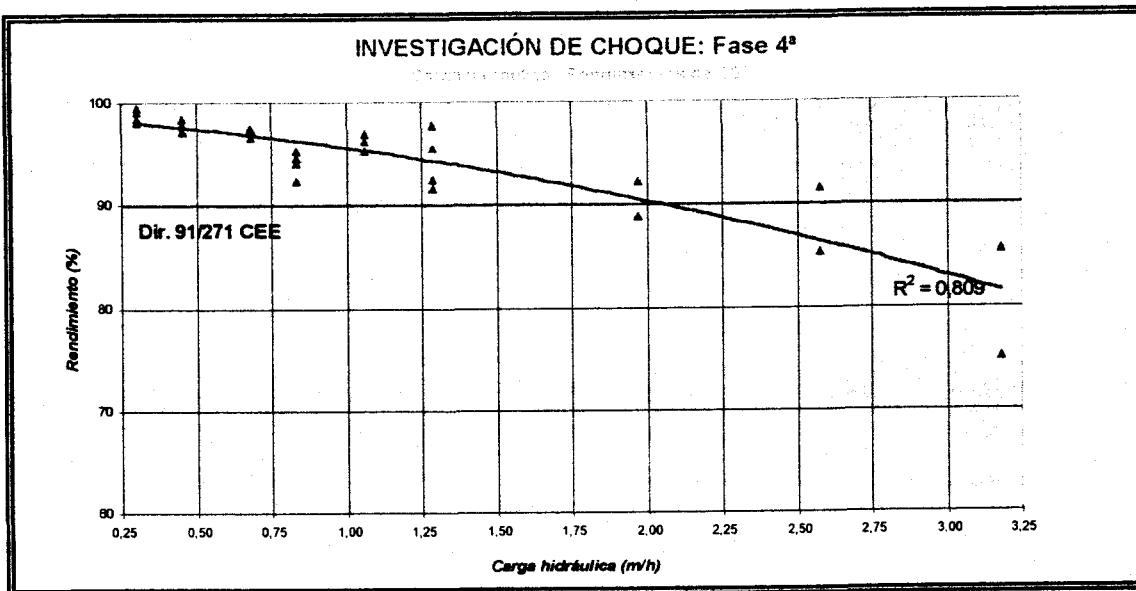
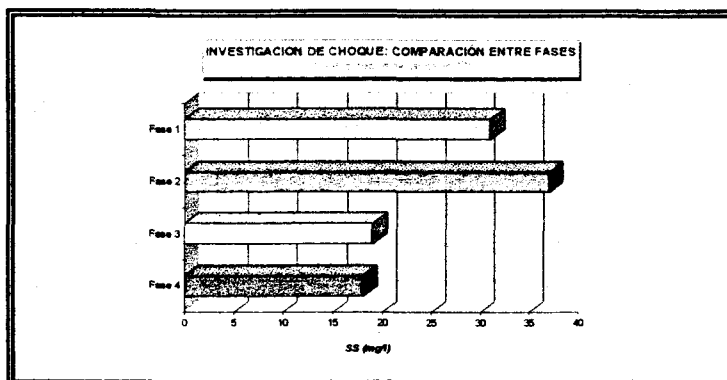
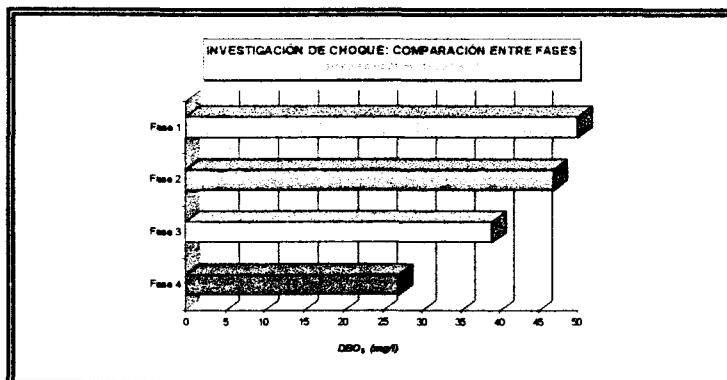
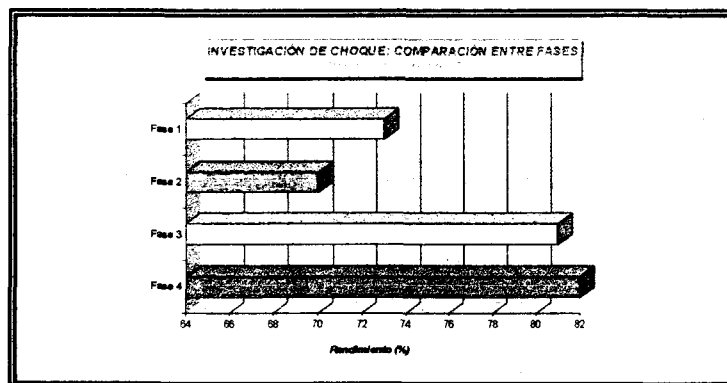
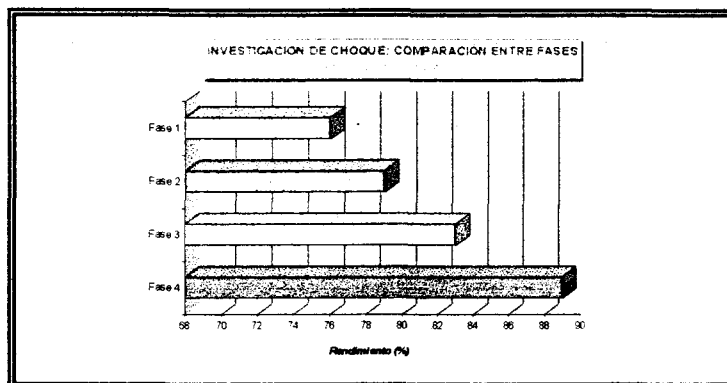
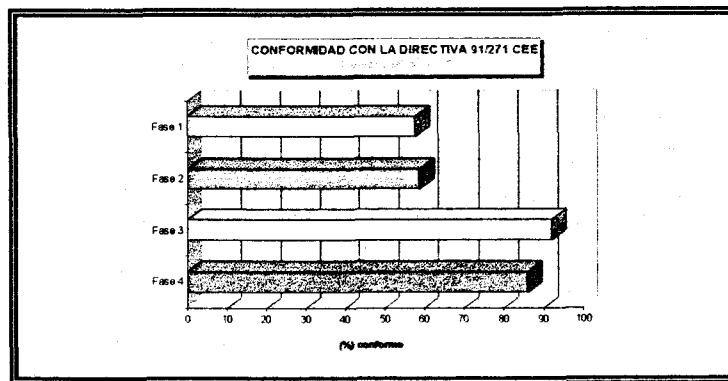
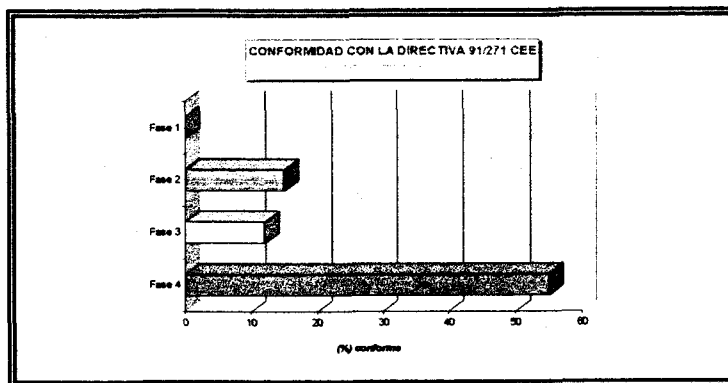
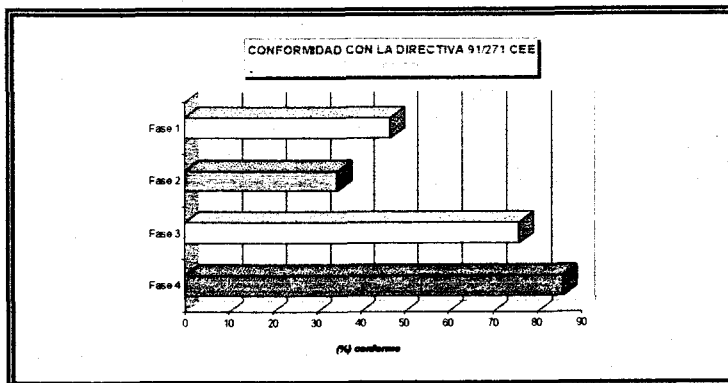
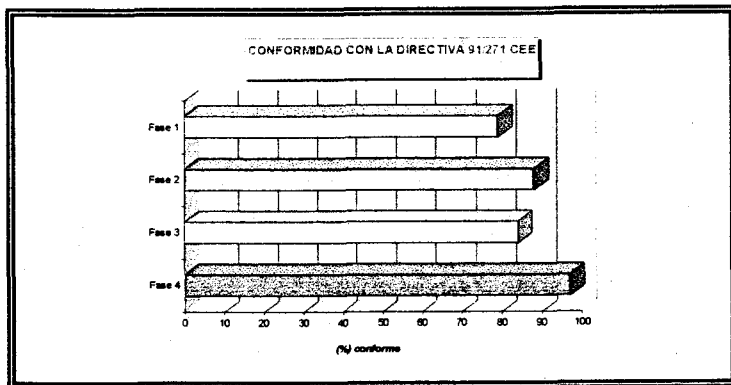


Gráfico 6.40



Gráficos 6.41, 6.42, 6.43 y 6.44



Gráficos 6.45, 6.46, 6.47 y 6.48

6.5.- CONCLUSIONES PREVIAS

6.5.1.- Conclusiones principales

1) Teniendo presente que durante toda la Investigación de Choque se operó con Relleno Cerámico, y un proceso formado por una única etapa correspondiéndose con un Reactor Biológico, se ha puesto de manifiesto que los resultados obtenidos para una *ALTURA DE RELLENO DE 0,8 METROS*, muestran ésta como *INSUFICIENTE*, logrando sólo una mínima eliminación de DBO para aireaciones muy elevadas, económicamente inviables. Se aprecia, por tanto, que este exceso de oxígeno suministrado, suple, en alguna medida, las deficiencias causadas por una escasa altura del filtro.

2) Tras el examen de los resultados recabados para una *ALTURA DE RELLENO DE 1,2 METROS*, se concluye que éstos son satisfactorios, pero cabe indicar que:

- ⇒) Se observa la *desigual distribución de la biomasa a lo largo del filtro, concentrada en los primeros tramos de paso del agua*; por otra parte, es factible y preciso la optimización de los lavados y, junto a los positivos resultados alcanzados para 1,2 metros de relleno, *SE ESTIMA CONVENIENTE, TRAS ESTA INVESTIGACIÓN DE CHOQUE, EL ENSAYO CON UNA ALTURA DE RELLENO DE 1,5 METROS*. Se considera que, de este modo, podría funcionar con alternancia de

flujos (distribuyendo el tiempo entre dos lavados consecutivos con flujo contra-corriente y flujo co-corriente). Así, se produciría un mejor aprovechamiento de la longitud total del filtro.

En esta línea y, examinando la fase que arroja mejores resultados, 1,2 metros de relleno y una aireación de 0,2 Kg. O₂ / hora (Fase nº4), se ha de comprobar si, con el incremento de altura de relleno, cabe aplicar unas cargas hidráulica y volumétricas superiores.

3) Finalmente, se concibe para fases futuras de esta investigación, la búsqueda de soluciones que permitan, básicamente, la posibilidad de aumentar las cargas de trabajo aplicadas y el porcentaje de muestras conformes a la Directiva 91/271 CEE, ya que los niveles medios de salida y rendimientos medios obtenidos en la fase nº4 son bastante esperanzadores. En base a ésto, se planteará:

- ✓ para la mejora de resultados de SS y posible contribución a los de DBO, una nueva etapa, tras el Reactor Biológico, consistente en un afino mediante una *FILTRACIÓN CON ARENA SILÍCEA*, lo que supondrá la *construcción de una nueva planta piloto con dos columnas*, ya que será necesaria una segunda, de la que no se dispone a estas alturas de la investigación.

✓ para la mejora, básicamente, de resultados en DBO, aparte del incremento en la altura de relleno y la nueva etapa de filtración, ya apuntado, se estudiará la viabilidad de un *RELLENO DOBLE CAPA*, que pretenderá servirse de las ventajas de los rellenos cerámicos y plástico, complementándose de tal forma que se obvien los inconvenientes que ambos tipos de material presentan por separado.

6.5.2.- Otras conclusiones

- 1) Tanto en el *cálculo de carga hidráulica como en el de cargas volumétricas admisibles* se cumplió: que para la eliminación de SS, en todas las fases de trabajo, fue más restrictiva la limitación de la Directiva 91/271 CEE referente a los rendimientos mínimos exigidos, mientras que para la eliminación de DBO, siempre fueron más restrictivos los niveles de salida permitidos.
- 2) El *material* mostró una importante resistencia a la agresividad del medio, causada por el paso del agua residual.
- 3) La *aireación* elevada es más determinante para la eliminación de DBO, que en el caso de eliminación de SS. Para ambas alturas de relleno, los niveles medios de salida de SS fueron superiores para el escalón de aireación inferior, aunque no puede generalizarse a estudios de rendimientos o conformidad con la Directiva 91/271 CEE, pues los resultados se aproximaron bastante. En definitiva, la

retención física del filtro se ve poco afectada por la cantidad de oxígeno suministrado al medio.

4) El filtro mostró una *recuperación* muy importante tras ser sometido a un *lavado*, incluso si éste se ejecutaba enérgicamente, de tal modo que puede admitirse la toma de muestras diaria, siendo ésta representativa del funcionamiento del Reactor Biológico, incluso el primer día después del lavado, igualmente que si hubiese estado operando varios días seguidos antes del análisis de la primera muestra.

5) Existe una menor *dispersión de datos* en las curvas que representan los parámetros medidos en el agua tratada, que en las del agua bruta, lo que significa que el Reactor Biológico "regula" las fluctuaciones de las puntas de entrada, y sirve como uniformador de los valores de salida, lo que muestra la fiabilidad del sistema y su adaptación a las variaciones de cargas aplicadas.

6) El *pH* no presentó oscilaciones importantes y éstas, por tanto, tienen carácter ocasional. Así, esta variable presenta el interés de caracterizar el tipo de agua a tratar, pero no pareció relevante intentar relacionarlo con otras variables y parámetros del sistema.

7.- MODIFICACIÓN DE LAS BASES DE PARTIDA

7.1.- Objetivos finales

7.1.1.- Objetivos finales principales

Es claro que el objetivo principal, enunciado en el segundo capítulo de esta Tesis Doctoral, sigue presidiendo todos los esfuerzos de los trabajos realizados, o sea, *la consecución de un sistema de depuración cuya implantación suponga la mínima superficie posible*. La Investigación de Choque se planteó como un camino a seguir, y los resultados obtenidos, así como las incidencias observadas en la operación, confirman aspectos planteados al inicio y apuntan otras posibles modificaciones de las bases de partida.

Por tanto, algunos objetivos marcados al principio, son corroborados por los primeros experimentos, mientras otros aparecen en menor medida

procedentes, o adecuados para investigaciones futuras (como es el caso del seguimiento de nutrientes, del que se hará una breve exposición más adelante).

A continuación se fijan y analizan los objetivos finales, a saber:

- 1) **Optimización de los rellenos** utilizados y, fundamentalmente, de su *altura* de trabajo.

- 2) **Optimización del régimen de lavados**; en la fase correspondiente a la Investigación de Choque, esta problemática se enfocó hacia la confirmación de la eficacia del lavado en filtros con reducidas alturas de relleno; una vez que se puede afirmar que, efectivamente, es factible lograr esta eficacia, se pretende, a partir de este momento de la Investigación, profundizar en todas aquellas variables que afectan esta operación tan crítica en el adecuado funcionamiento de los procesos biológicos que tienen lugar en el seno de un relleno filtrante, como es el lavado.

Se dirigirán los ensayos hacia la determinación de:

✓ *Carrera de lavado*, o tiempo transcurrido entre dos consecutivos

✓ *Duración de los ciclos de lavado* (esponjado, lavado

propiamente dicho y aclarado)

✓ Caudal de agua de lavado

✓ Caudal de aire de lavado

- 3) **Adecuación de los parámetros de diseño:** se prestará especial atención a las *cargas de trabajo aplicadas*, su relación con los niveles de contaminación del agua tratada, y el rendimiento y cuantificación de la contaminación eliminada en los procesos de biofiltración.
- 4) **Control de las variables** a las que se encuentran sometidos los procesos, de tal modo que sea conocida la relación entre aquéllas y los parámetros, y se contemple la reacción ante la posible variabilidad de éstos. El operador del sistema debe ser dueño en cada momento del mismo.
- 5) Se someterá a un seguimiento continuado, y podrán comprobarse los éxitos y aspectos susceptibles de mejora, encontrados en el **diseño de la automatización** de una nueva planta piloto, llevado a cabo en base a la experiencia acumulada durante el manejo de la primera planta piloto, que también disponía de un cierto grado de automatización, más básica que la desarrollada para la nueva.

6) Estudio de nuevas posibilidades de trabajo, como es el *afino* posterior a un Reactor Biológico mediante *filtración con arena* silíceas, tratando de conocer la aportación de cada una de las etapas del proceso a la eliminación de distintos parámetros de entrada, centrando el estudio, fundamentalmente, en la eliminación de materia carbonada.

7.1.2.- Objetivos finales secundarios

1) Avance en el desarrollo de un relleno *Doble Capa*, muy poco reportado hasta el momento en las distintas referencias bibliográficas internacionales.

7.2.- Variables y parámetros adoptados

En este apartado, se enumeran las variables y parámetros que van a focalizar los estudios venideros, seleccionados entre los que se contemplaron inicialmente oportunos para el estudio de un sistema de depuración como los lechos inundados. El criterio de elección empleado ha resultado del grado de significación y criticismo que han mostrado durante la fase de la Investigación de Choque. Para un desarrollo y explicación más amplia de todos ellos, se remite al capítulo 4 de esta Tesis Doctoral, "*Variables y parámetros*".

7.2.1.- Variables

✓ Caudal de agua

- ✓ Caudal de aire proceso
- ✓ Altura del material de relleno filtrante
 - ✓ Naturaleza del material de relleno (granulometría, porosidad, permeabilidad, densidad seca, densidad húmeda, Superficie Específica)
 - ✓ Potencia instalada de los equipos mecánicos

7.2.2.- Parámetros (incluidas las cargas)

- ✓ Carga hidráulica
- ✓ Carga volumétrica o volúmica (de DQO, DBO y SS)
- ✓ Carga Superficial (de DQO, DBO y SS)
- ✓ Tiempo de Retención
- ✓ Sólidos en Suspensión
- ✓ Demanda Bioquímica de Oxígeno a los cinco días(DBO₅)
- ✓ Demanda Química de Oxígeno (DQO)
- ✓ Nitrógeno: en sus formas amoniacal, nitrato y nitrito.

7.3.- MODIFICACIONES DE LA PLANTA PILOTO

Las Conclusiones Previas, obtenidas a partir de las observaciones realizadas durante la Investigación de Choque, básicamente, afirmaban que el material utilizado, y que se ha dado en denominar Relleno Cerámico, es apto para depuración biológica de aguas residuales mediante filtros inundados,

presentando resultados satisfactorios con 1,2 metros de altura de relleno filtrante. Sin embargo, eran susceptibles de mejora, tanto la eliminación de Sólidos en Suspensión, como la de DBO, siendo ambos parámetros los más significativos en el diseño de una Estación Depuradora.

También se planteará la Investigación de Fondo con la aspiración de mejorar el sistema, mediante un incremento de las cargas de trabajo aplicadas, junto a la consecución de unos efluentes de calidad, incluso superior, a los obtenidos en la Investigación de Choque.

Ya se apuntaron en el referido apartado de Conclusiones Previas, las siguientes soluciones para promover un progreso en la bondad de resultados:

- 1) Incremento de la altura de Relleno Cerámico hasta 1,5 metros
- 2) Complemento del Reactor Biológico o primera etapa de filtros inundados, con una posterior, también a base de filtros inundados, a modo de *afino*, y consistente en una *filtración con arena silícea*.
- 3) Ensayo de un *Relleno Doble Capa*, que estaría formado por un tramo de Relleno Cerámico y otro de Relleno Plástico. Los objetivos planteados para este tipo de relleno se desarrollarán más adelante, al

tiempo que se presenten las experiencias y resultados recabados.

Así, hubo de concebirse una nueva planta piloto, de tal forma que su diseño optimizase y facilitase la operación para el funcionamiento adaptado a las tres situaciones recién planteadas. Las modificaciones principales que se adoptaron, respecto a la primera planta piloto utilizada, fueron:

- ✓ Montaje de una **segunda columna** para albergar el filtro de arena

- ✓ Incorporación de un **software** y una **automatización avanzada**, cuyos principales objetivos se centrarían en:
 - ✓ Manejo de la operación de lavado
 - ✓ Registro profuso y automatizado de datos
 - ✓ Toma de muestras integradas
 - ✓ Información en tiempo real del estado del sistema y posibles averías
 - ✓ Control remoto de las opciones de funcionamiento

Se diseñó un mecanismo de separación de materiales para la fase de funcionamiento correspondiente al Relleno Doble Capa. Por otra parte, se pretendió proyectar la nueva planta piloto, de tal modo que admitiese en el futuro

cualquier tipo de flujos de aire y agua que pudiese plantearse conveniente ensayar.

8.1.- INTRODUCCIÓN

La financiación de esta nueva planta piloto, en gran medida, corrió a cargo de la Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas, adscrita a la Secretaría de Estado de Aguas y Costas (del Ministerio de Medio Ambiente).

Se ubicó, igualmente a la primera planta piloto, en la E.D. Churriana SUR, cuya propiedad ostenta EMASAGRA, S. A. (Empresa Municipal de Aguas y Saneamiento de Granada, Sociedad Anónima).

De la misma forma, los filtros experimentales se instalaron en la zona del pretratamiento de dicha E.D., y más concretamente en la nave de desbaste, pese a tratarse de una de las zonas de mayor producción de olores y una de las que provoca más ruidos notables y continuados.

Se pensó como la idónea en función de los espacios disponibles, su proximidad a fases iniciales de la depuración y, sobre todo, a la posibilidad de situar la planta en recinto cubierto. De este modo, se facilitaba la toma de aguas brutas y decantadas, aptas para las investigaciones que se proponía llevar a cabo.

En cuanto al equipo informático de control, se instaló en otro edificio próximo, con menor producción de olores, al tiempo que se evitaba el ambiente agresivo de la zona de desbaste y la cercanía de los gases emitidos por el contenedor de residuos de las rejillas próximas; en conjunto, un panorama nada adecuado para los materiales informáticos. También hay que tener en cuenta las frecuentes limpiezas de esta nave, mediante mangueras de agua a presión, y llevadas a cabo por personal ajeno a la investigación.

El diseño de esta segunda planta piloto se concibió una vez que se vio factible una serie de mejoras en la primera, y se encargó la construcción y montaje a la empresa ICR (Ingeniería y Control Remoto), que dado su carácter innovador y el hecho de tener una división de I+D, se encontraba preparada para atender los mínimos detalles solicitados.

Esta planta piloto consta de dos columnas de metacrilato, que constituyen el receptáculo para el material soporte de los lechos inundados, y se sitúan sobre

una mesa elaborada con planchas de PVC especial de elevada resistencia.

Las columnas alcanzan su altura mediante tres tramos añadidos cada uno al anterior por medio de juntas tóricas atornilladas; los dos primeros tramos miden 1 metro libre, y el tercero 1,70 y 1,3 metros en el Reactor Biológico y Filtro de Arena, respectivamente.

El equipo informático que incorpora la planta se encuentra facultado para contabilizar el valor, en tiempo real, que alcanzan en cada instante diversos parámetros y variables, en ambas columnas. Posteriormente, este volumen ingente de información podrá tratarse adecuadamente (presión, caudales, temperatura, etc.).

Seguidamente, se acompañan unos esquemas de la planta piloto en las siguientes páginas y, a continuación, se procede a la descripción de la misma.

8.2.- DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO

8.2.1.- Circuito de aire

Incluido dentro del circuito de aire, se tiene un compresor de 5,5 HP. El intervalo de presión de salida del compresor es de 6 a 10 bar; acto seguido, el aire pasa a un conjunto filtrante, y de éste a dos magnorreductores (válvulas

Fig. 8.1.- Diagrama de flujos de la NUEVA PLANTA PILOTO

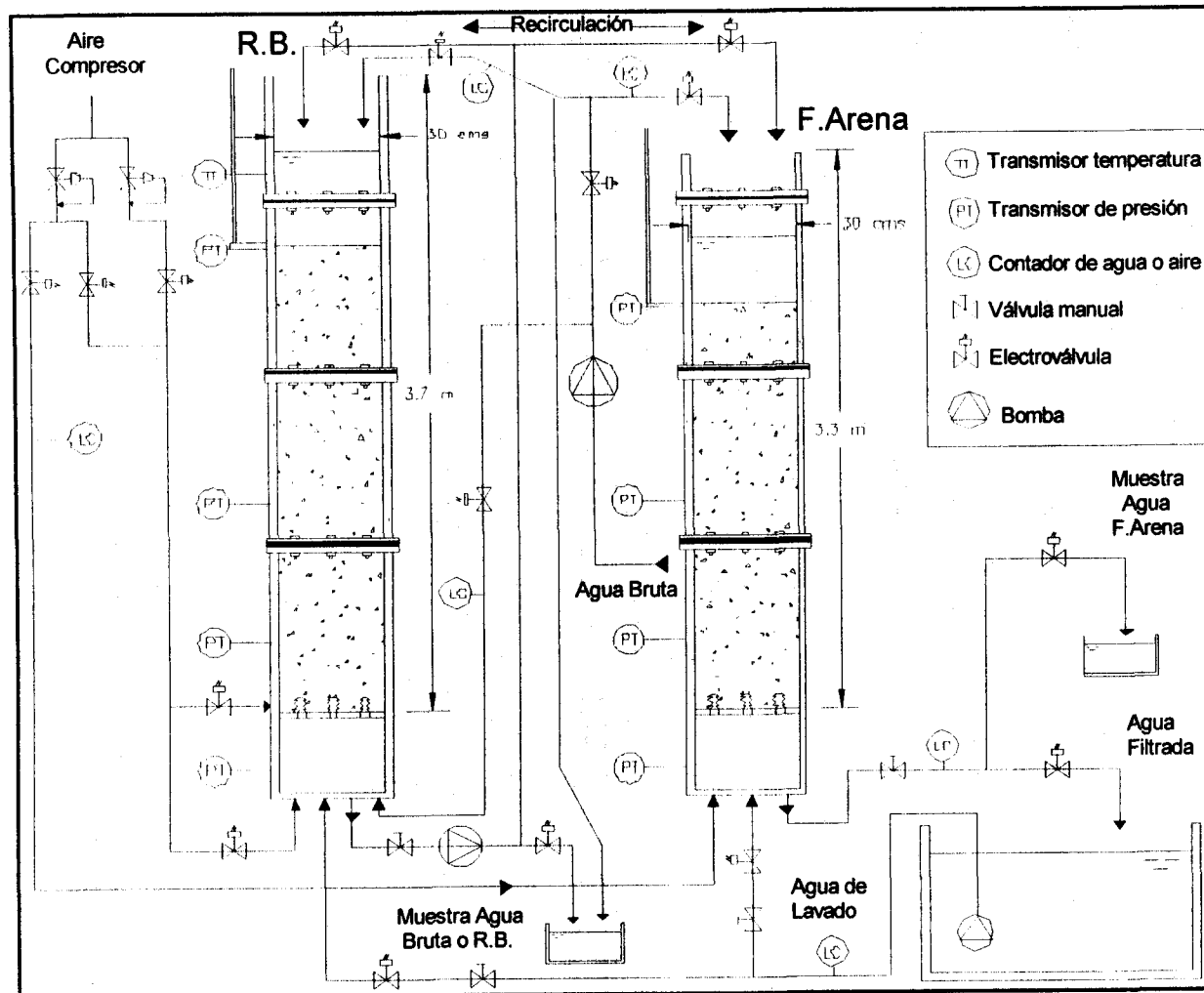
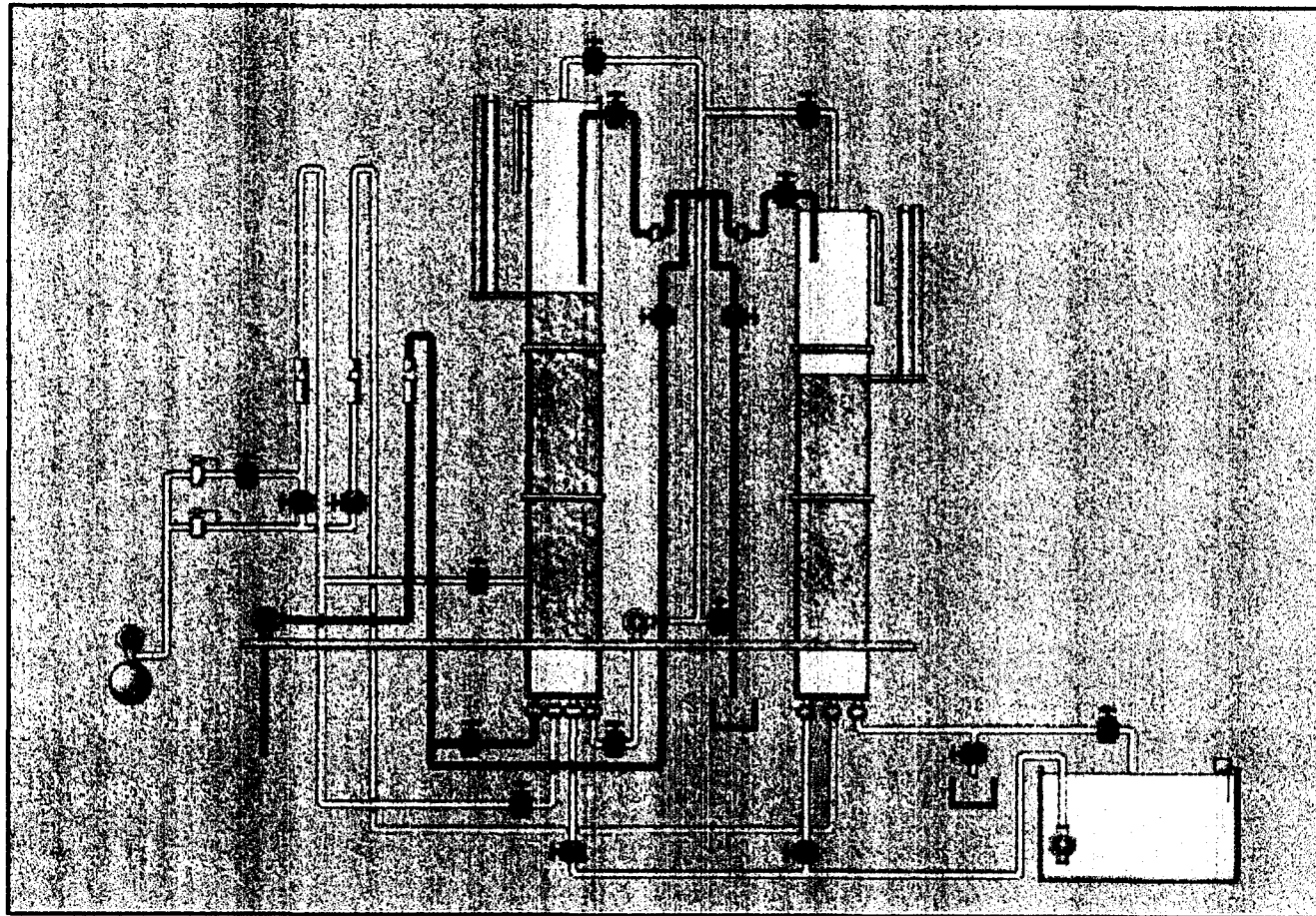


Fig. 8.2.- Diseño esquemático de la NUEVA PLANTA PILOTO



reductoras de presión) manuales, uno para Aire de proceso y otro para Aire de Lavado, que no pueden actuar simultáneamente. Para la selección del punto de introducción del Aire de Proceso, existen dos opciones: Entrada de aire de proceso intermedia o inferior, utilizándose únicamente la última.

El caudal de aire que se introduce se regula mediante una válvula, de modo manual, utilizándose un caudalímetro de precisión para conocerlo. El rotámetro instalado es idéntico al de la primera planta piloto, lo que permite contrastar resultados de ambas, sin temor a cometer errores de lectura y cálculo de medidas.

También se dispone de la opción de Mantenimiento de cultivo. Esta opción consiste en continuar suministrando aire al sistema, cuando éste, por los motivos que sean, permanece fuera de operación. Es posible programar el momento en que esta opción entra en concurso y el tiempo de duración de la misma. Gracias a esta posibilidad, la planta adquiere una gran flexibilidad ante variaciones de caudal o carga contaminante aplicada, sobre todo si éstas pueden preverse.

Durante el lavado y en las fases requeridas, es posible insuflar aire a mayor presión, Aire de Lavado, el cual siempre se introduce por la parte inferior del Reactor.

En lo que respecta al Filtro de Arena, sólo necesita aire para lavado. En cualquier caso, es también posible suministrar Aire de proceso en esta columna. No se contempló la simultaneidad en el lavado de Filtro de Arena y Reactor Biológico, puesto que aumenta mucho el caudal a decantación y, en planta real, debe evitarse.

8.2.2.- Circuito de Agua Bruta

El circuito de Agua Bruta comienza en una bomba horizontal autoaspirante de superficie. Ésta toma el agua a la salida del tratamiento primario (decantadores primarios). La regulación del caudal requerido se realiza manualmente, calibrando siempre éste en función de las lecturas que se obtienen en el contador de agua.

Desde esta bomba, el agua se puede contabilizar y enviar a varios destinos:

- ✓ Entrada inferior del Reactor Biológico
- ✓ Entrada superior del Reactor Biológico
- ✓ Entrada superior del Filtro de Arena
- ✓ Toma de muestras de Agua Bruta

8.2.3.- Circuito de Recirculación.

El circuito de recirculación se utiliza para reintroducir agua tratada en el Reactor Biológico, paso de agua del Reactor Biológico al Filtro de Arena, y toma de muestras de agua del Reactor Biológico; con todo ello, y atendiendo a los puntos anteriormente expuestos, se busca la flexibilidad de la planta y, así, poder simular estados reales.

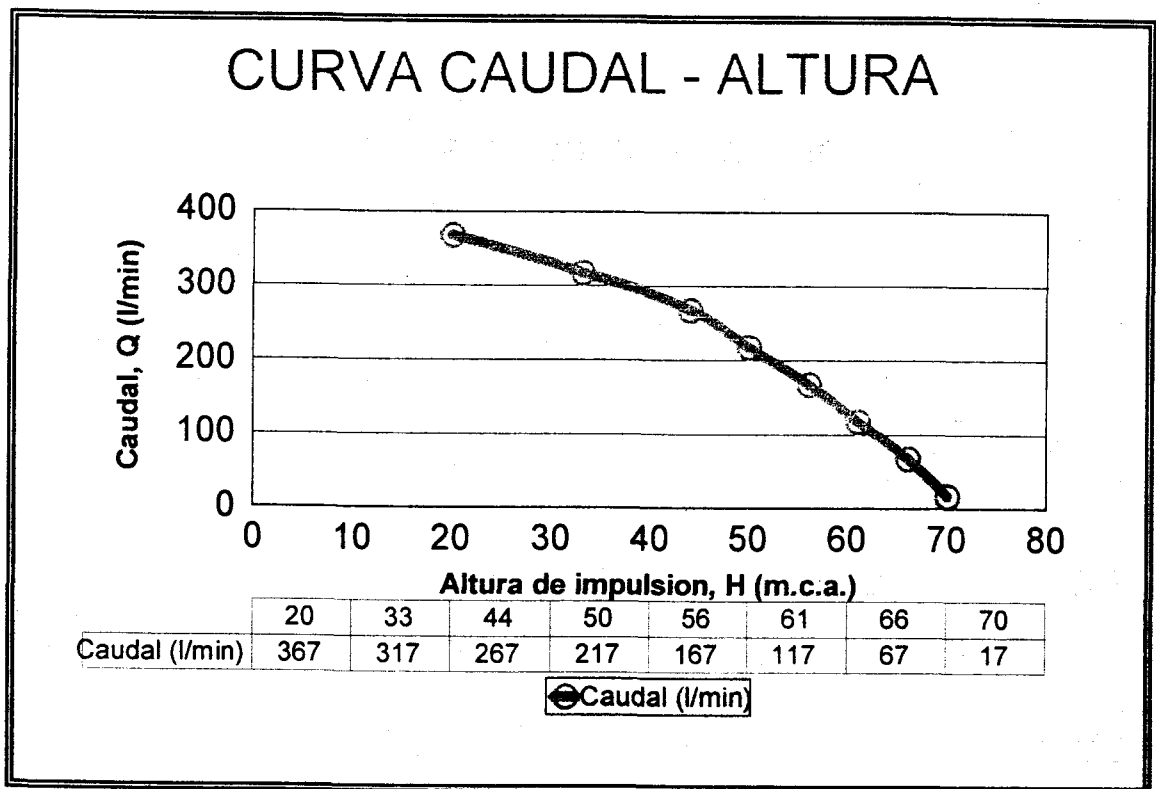
8.2.4.- Circuito de Lavado

El circuito de agua de lavado consta de un depósito de 1 metro cúbico de capacidad, donde se almacena el agua filtrada; en principio, se utilizaba una bomba sumergida de 0.75 Kw, con un hidronivel de protección, para impulsión de agua de lavado, y dos electroválvulas, que seleccionan el vaso a lavar. Esta bomba fue sustituida durante la investigación, pues se pretendió probar un régimen de lavados más severos e intensos, para lo que se requería una bomba más potente (en la siguiente página se inserta la curva aproximada (Q,H) de la bomba en cuestión).

8.2.5.- Circuito de Agua Filtrada

Se cuenta con un circuito a la salida del Filtro de Arena, para el agua filtrada. Ésta se mide con un contador, y el agua puede dirigirse al depósito de Agua Filtrada o a una toma de muestras.

Fig. 8.3.- Curva (Q, H) de la nueva bomba de lavado



8.2.6.- Toma de muestras

En general, todas las tomas de muestra caben realizarse de modo manual, aunque también pueden llevarse a cabo automáticamente. En este modo, se fijan el intervalo de tiempo entre muestras, y el tiempo de muestra, con lo que se tiene una toma de muestras integrada.

Los posibles puntos de muestreo se sitúan en: Agua Bruta (previo al Reactor Biológico); Agua Tratada AT1 (a la salida del Reactor Biológico, independientemente del sentido de alimentación activado, superior o inferior); y Agua Tratada AT2 (a la salida del Filtro de Arena).

8.2.7.- Lavado del Reactor Biológico o Filtro de Arena

El lavado, ya sea manual, automático o semiautomático, para el Reactor Biológico o Filtro de Arena, consta de las siguientes fases:

1. Esponjado con aire
2. Lavado con aire y agua
3. Aclarado con agua
4. Comienzo de ciclo

En la 1ª fase se produce la parada del ciclo que se estuviera realizando, con el aislamiento del filtro (paro de bombas y cierre de válvulas correspondientes). Al instante, se abren las electroválvulas para dar entrada en la columna al aire de lavado, durante un tiempo t .

En la 2ª fase, transcurrido ese tiempo t de la 1ª, se acciona la marcha de la bomba de Agua de lavado, se abren las electroválvulas correspondientes del agua de lavado, y finaliza esta fase tras un tiempo t' .

En la 3ª fase, se cierran las válvulas de aire, continuando el funcionamiento

de la bomba de agua y abiertas las válvulas pertinentes para el paso de Agua de lavado.

8.3.- DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE

8.3.1.- Características generales del sistema

Con el sistema de automatización del Reactor Biológico y Filtro de Arena, se pretendió monitorizar el estado de los filtros y equipos que integran el sistema, así como realizar un control automático de todos los componentes. Para ello el sistema se compone de:

- ✓ *Aplicación del software*: Es el conjunto de programas que se ejecutan en el ordenador y que permiten monitorizar el estado de los diferentes componentes existentes, así como enviar órdenes. También se pueden fijar los parámetros que controlan el funcionamiento del sistema.

- ✓ *Autómata*: Situado en el cuadro eléctrico del sistema, se encarga de controlar directamente las actuaciones que se realicen sobre el mismo, así como de recoger la información proveniente de éste. Posee una pequeña pantalla con unas teclas que permiten al operador fijar los distintos parámetros de control del sistema.

✓ *Módulo de comunicación*: Es el elemento que lleva todo el peso de las comunicaciones entre el ordenador y el autómeta.

8.4.- DESCRIPCIÓN DE LOS AUTOMATISMOS

8.4.1.- Modos de funcionamiento

Los equipos pueden funcionar en modo local o en modo remoto. En modo local, los equipos funcionan de acuerdo a las órdenes que se les transmita desde su cuadro eléctrico. En modo remoto, funcionan según las órdenes transmitidas por el autómeta.

Cuando un equipo se encuentra en funcionamiento remoto, entonces caben dos tipos de control: control manual y control automático. En control manual, el equipo funcionará de acuerdo con la orden que se le mande desde el ordenador mediante el cuadro de control del equipo.

8.4.2.- Avería

Este evento, en forma de aviso, aparece cuando a un equipo se le transmite una orden de marcha o paro, en modo remoto, y, transcurrido un tiempo predeterminado, no ha respondido a la orden.

9.1.- MONTAJE Y PUESTA EN MARCHA DE LA NUEVA PLANTA PILOTO

Tras reiteradas y prolongadas reuniones con la empresa encargada del montaje e instalación de la nueva planta piloto (Ingeniería y Control Remoto, S.A. -I.C.R.-), se cita a miembros del Área el día **19 de Abril de 1.996** para presenciar una *prueba de estanqueidad* de la planta, ya totalmente terminada en los sótanos de esta empresa, sita en la localidad granadina de Albolote.

Estas pruebas resultaron negativas, pues la composición de la plancha que constituía la superficie de la mesa soporte de las columnas de metacrilato, consistía en una tipología de PVC excesivamente poroso. La reposición de esta lámina ascendía a una suma importante, por lo que se decide impermeabilizar el contacto en cuestión.

Por otra parte, también provoca rechazo la *prueba de las juntas* entre los distintos tramos de las columnas, pues se producen escapes a través de las bridas de unión; el problema, en este caso, reside en el material constituyente de dichas bridas, nylon, el cual cumple una función esencial que se espera de él, la resistencia a las presiones de agua a las cuales se le someterá durante su vida útil, pero su adherencia con el metacrilato de las columnas no es adecuada.

Aparece obligado el traslado de las columnas al taller de un tornero, que modela más adecuadamente estos segundos contactos, con intención de facilitar y mejorar, en la medida de lo posible, su impermeabilización con fibra de vidrio.

La *prueba de los automatismos*, que se había programado para la semana siguiente, tampoco puede tener lugar. El día **13 de Mayo**, en las uniones tóricas entre tramos de las columnas, se coloca un PVC y un ligamento recomendado por la empresa ICR, tras desechar la posibilidad de impermeabilizar con fibras de resina de poliuretano, al considerar esta solución más inadecuada.

Posteriormente, transcurre un lapso de un mes de duración, en los cuales se cursan las pertinentes *peticiones* a la Empresa Municipal de Aguas y Saneamiento de Granada, S.A. (EMASAGRA, S.A.), en las que se solicita la ubicación de la planta piloto en la Estación Depuradora de Aguas Residuales Churriana Sur, de la cual es titular.

En este tiempo, también se ponen a punto las *analíticas* que se van a realizar durante la investigación, para lo cual se contrastan los métodos a utilizar con los de la empresa en sus Estaciones Depuradoras, tanto más cuanto la analítica se viene llevando a cabo en los mismos laboratorios que para su propio control dispone la E.D. Churriana Sur.

Mientras tanto, ICR continúa el proceso de montaje, que toca a su fin el día **20 de Mayo de 1.996**, fecha en la que, definitivamente, se *traslada la nueva planta piloto* desde Albolote hasta la E.D. Churriana Sur, a falta de algunos detalles menores y de la instalación del software que controla la automatización del sistema; éste último tiene lugar el día 4 de Junio.

La planta piloto se instala en la zona de pretratamiento de la E.D.. Pese a tratarse de un lugar con un ambiente agresivo y húmedo, se decide como el más adecuado por su proximidad a los decantadores primarios, desde los que se pretende alimentar, a modo de agua bruta, la planta piloto. De otro lado, se encuentra bajo techo, condición indispensable para aislar, en cierta medida, la planta de las condiciones meteorológicas ambientales.

En cuanto al sistema informático, no puede instalarse junto a la planta, pues sus componentes electrónicos son muy sensibles al ambiente agresivo de esta zona de la Estación Depuradora, así como al peligro continuo de riego con

agua a presión, tarea ésta rutinaria por parte de los operarios, en esta zona del desbaste de la planta depuradora. Finalmente, se decide ubicar el equipo informático en otro edificio próximo, obligando esta operación a colocar más de 100 metros de cable por galerías y un amplificador de señal, todo lo cual dilata nueva e imprevistamente la puesta en marcha definitiva de la planta piloto.

Para el día **28 de Mayo**, se culminan algunos detalles pendientes, a saber:

- ✓ Traslado de la bomba de agua bruta desde su emplazamiento original, cercana a las columnas de la planta piloto, hasta las arquetas situadas justo a la salida de los decantadores, con el propósito de que siempre funcionen cebadas. En su posición primitiva, el agua encontraba dificultades para alcanzar el tubo de impulsión de las bombas, ya que la aspiración de las mismas se mostraba insuficiente.

- ✓ Adaptación de la instalación eléctrica para alumbrado de la nave de desbaste de la E.D. Churriana Sur, con componentes resistentes a una instalación de mayor potencia.

El día **3 de Junio de 1.996** se procede al *Relleno de los Filtros* y el día siguiente se procede a la *puesta en marcha*, por vez primera. Desde este momento, transcurre un período de tiempo que se corresponde con la *Puesta a*

Punto de la planta. En efecto, en la época inmediatamente posterior a esta fecha, los fallos detectados en electroválvulas, software y otros mecanismos se reiteran, al tiempo que se procede a la puesta a punto de la toma de muestras y calibración de los diferentes aparatos de medida, básicamente los responsables de: caudales de agua bruta, agua recirculada desde la salida del primer filtro al segundo filtro, agua tratada, agua de lavado y caudal de aire de proceso y lavado.

El primer análisis rutinario se lleva a cabo el día **13 de Junio de 1.996**. El día **3 de Julio**, finalizan los trabajos de montaje en la nueva planta piloto de sendos *sifones* en ambas columnas, con el fin de restablecer la cota que se desea tenga el agua tras un lavado. En principio, la planta piloto se diseñó para eliminar el agua de lavado mediante un rebosadero, pero dada la diferencia apreciable de altura de la columna respecto al material de relleno, se tuvo que proceder a la instalación de los sifones, tramificados para su adaptación a distintas alturas del mismo.

Así, el **12 de Julio de 1.996**, se sucede una *nueva Puesta en Marcha*, en esta ocasión con visos de continuidad, y se inicia la toma sistemática de datos, correspondientes a las fases de trabajo en la nueva planta piloto, que se describen detalladamente en páginas sucesivas. Así, las incidencias ocurridas a partir de este momento aparecen en un apartado posterior de este capítulo.

9.2.- PLAN DE TRABAJO

9.2.1.- Introducción

Las modificaciones de las bases de partida, cuya justificación se sustenta por las conclusiones previas obtenidas en la Investigación de Choque de la primera planta piloto tras experimentar con un único **Reactor Biológico**, abría tres líneas de investigación a seguir con la nueva planta piloto. La primera no es sino la que motiva la concepción, y posterior montaje, de esa planta: el ensayo de un afino, a base de una filtración con arena silíceas, posterior al paso del agua por un Reactor Biológico, consistente en un lecho aireado inundado.

La segunda de las líneas apuntaba a la experimentación con un Relleno Doble Capa, para solventar los problemas de resultados suscitados en la Investigación de Choque. La complejidad de mecanismos necesarios para esta opción, planteó la conveniencia de llevar a cabo este estudio como última etapa de la investigación.

En cuanto a la tercera línea, apuntaba a operar con 1,5 metros de relleno filtrante. Es claro que había que cubrir esta fase que, por otra parte, es la que exigía menores cambios respecto a la forma de trabajo seguida hasta el momento. En efecto, sólo era preciso añadir un volumen de material al filtro. Sin embargo, no se procedió a poner en práctica esta fase de forma inmediata. La adición de

un nuevo proceso al conjunto del sistema, la segunda etapa consistente en una filtración, obligaba a replantear y corroborar algunos resultados de la Investigación de Choque; básicamente, apareció ineludible repetir algunas fases ya experimentadas, para confirmar la inadecuación de los resultados obtenidos en éstas, dada la presencia de esa nueva etapa que, sin duda, tenía que causar progresos positivos en el funcionamiento. El replanteamiento de estados pasados, se centró en repetir experimentos con:

✓ *Altura de relleno inferior a 1,5 metros*

✓ *Aireación inferior a 0,2 Kg. O₂ / hora*

En cuanto al primer aspecto de estos dos, se optó por introducir inicialmente en la columna correspondiente al Reactor Biológico, *1 metro de relleno*, inferior al satisfactorio 1,2 ensayado anteriormente, pero superior al 0,8, cuyos resultados obtenidos fueron excesivamente deficientes. De igual forma, se probaron escalones de aireación inferiores a la que había proporcionado resultados aceptables en la Investigación de Choque (0,2 Kg. O₂ / hora).

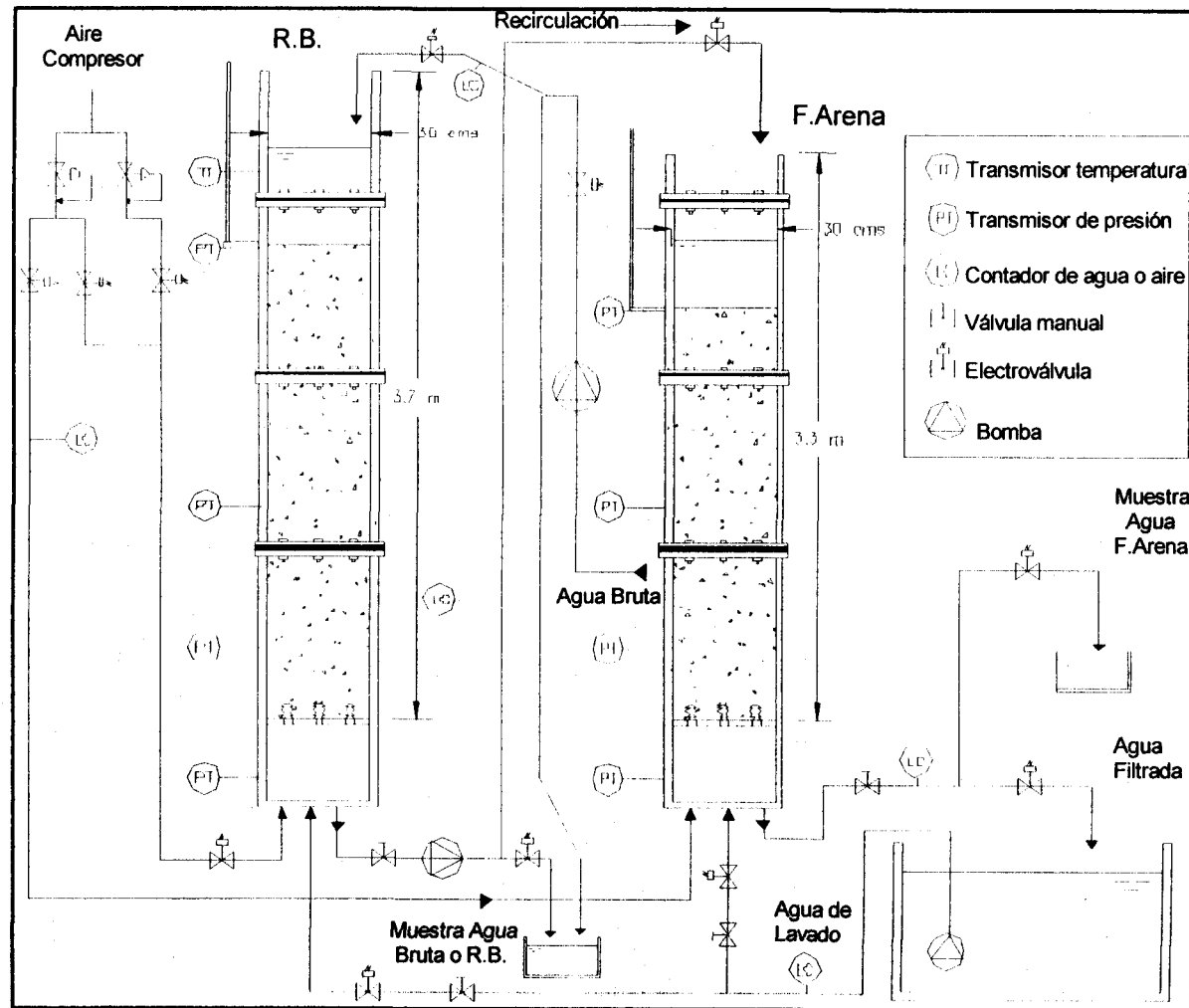
En cuanto al **Filtro de Arena**, la experiencia con él era inexistente en cualquier estudio anterior de la Cátedra, y la bibliografía internacional consultada resultó muy escasa. En las mínimas referencias encontradas sobre filtros cuyo objetivo es el afino, sin adición de fuente de carbono alguna, es decir, filtros en

los que se busca principalmente una reducción importante de Sólidos en Suspensión y, en menor medida, de materia carbonada o nitrificación, la altura necesaria es inferior. De este modo, se preconció una altura de prueba inicial de *1,25 metros*, y se mantuvo durante toda la Investigación de Choque en la nueva planta piloto.

Para el Relleno Cerámico del Reactor Biológico, los estudios precedentes al respecto y la propia Investigación de Choque motivada por esta Tesis Doctoral, se conocían los óptimos resultados con *Flujo Descendente del agua* (Flujo contracorriente de fluidos), mejores a los que pueden obtenerse con flujo co-corriente. Es por ello que se adopta aquella disposición. Lógicamente, la filtración a través de arena tiene lugar en sentido descendente del agua, con lo que el esquema final de flujos se completa con una recirculación de agua tratada de la parte inferior del Reactor Biológico hasta la parte superior del Filtro de Arena. El diagrama de flujos queda como se aprecia en la figura de la página siguiente.

Por otra parte, la Puesta a Punto en esta nueva planta piloto, tuvo bastante que ver con una Investigación de Choque. Así, se puede afirmar la gran peculiaridad de aquella, presentando importantes trazas de investigación y posterior estudio sistemático de resultados, pero también junto a una labor oculta, y en muchas ocasiones ingrata, de búsqueda en la optimización del complejo ingenio hecho realidad que supuso la nueva planta piloto a escala semitécnica.

Fig. 9.1.- Diagrama de flujos en la Nueva Planta Piloto, durante la Investigación seguida en su Puesta a Punto



9.2.2.- Rellenos utilizados

En la Investigación seguida durante la Puesta a Punto de la nueva planta piloto, se hizo uso de los siguientes materiales de relleno:

✓ Relleno Cerámico

✓ Arena silícea

El primero de ellos constituyó el relleno filtrante de la primera columna de la nueva planta piloto (a partir de ahora, Reactor Biológico), y la arena silícea constituyó el material de la segunda columna (a partir de ahora, Filtro de Arena).

Para una más extensa información acerca de las características y naturaleza de los anteriores materiales, se remite al apartado descriptivo desarrollado al respecto en el capítulo "*Materiales y Métodos*", así como al Anejo correspondiente al *Reportaje fotográfico*, donde puede apreciarse una impresión visual de los mismos.

9.2.3.- Metodología para la toma de datos

9.2.3.1.- Toma de muestras

La toma de muestras se realizó de forma análoga a la realizada en la Investigación de Choque con la primera planta piloto. Es decir, las muestras fueron integradas, estando compuestas por la incorporación de tres fracciones

distintas, cada una de ellas correspondientes a tres tomas puntuales durante el día. Para cubrir las horas más críticas de funcionamiento de una estación depuradora, se seleccionaron las 8, 16 y 21 horas, como representativas de un día medio, tanto por tratarse de las horas de mayor contaminación del agua, como las de mayor caudal de agua bruta de entrada.

La muestra se recogía para su posterior análisis cada 24 horas, y justamente tras días completos de funcionamiento de la planta piloto, después de un lavado.

El total de muestras analizadas diaria y sistemáticamente ascendió a un total de tres, y cada una se asocia a los siguientes puntos de muestreo:

- ✓ Entrada de agua bruta a la planta piloto (procedente de los decantadores primarios de la E.D. Churriana Sur).
- ✓ Salida de agua tratada del Reactor Biológico.
- ✓ Salida de agua tratada del Filtro de Arena.

Esporádicamente, se realizaron tomas de muestras con menor espaciamiento entre dos consecutivas, con el fin de comprobar la recuperación del filtro tras un lavado.

9.2.3.2.- Analítica de las muestras

Las muestras tomadas diariamente eran sometidas a los siguientes análisis, sintetizados en el cuadro:

Cuadro 9.1.- Síntesis de las tomas de muestras realizadas, indicando punto de muestreo y periodicidad

<i>Punto de muestreo</i>	<i>Análisis</i>	<i>Periodicidad</i>
<i>Entrada de agua bruta a la planta piloto (AB)</i>	pH	Diaria
	DQO	Diaria
	DBO ₅	Diaria
	S.S.	Diaria
	NH ₄ ⁺	1 muestra cada 3 días
	NO ₃ ⁻	1 muestra cada 3 días
	NO ₂ ⁻	1 muestra cada 3 días
<i>Salida de agua tratada del Reactor Biológico (AT1)</i>	pH	Diaria
	DQO	Diaria
	DBO ₅	Diaria
	S.S.	Diaria
	NH ₄ ⁺	1 muestra cada 3 días
	NO ₃ ⁻	1 muestra cada 3 días
	NO ₂ ⁻	1 muestra cada 3 días

<i>Punto de muestreo</i>	<i>Análisis</i>	<i>Periodicidad</i>
<i>Salida de agua tratada del Filtro de Arena (AT2)</i>	pH	Diaria
	DQO	Diaria
	DBO ₅	Diaria
	S.S.	Diaria
	NH ₄ ⁺	1 muestra cada 3 días
	NO ₃ ⁻	1 muestra cada 3 días
	NO ₂ ⁻	1 muestra cada 3 días

9.2.4.- Fases de trabajo de la Investigación seguida durante la Puesta a punto de la nueva planta piloto

9.2.4.1.- Introducción

La Puesta a punto de la nueva planta piloto comienza el **12 de Julio de 1.996.**

A continuación, se inserta un cuadro síntesis de todas las fases de trabajo comprendidas en la Investigación seguida en la Puesta a punto de la nueva planta piloto, mientras posteriormente se tratarán pormenorizadamente cada una de ellas.

Cuadro 9.2.- Cuadro - síntesis de las distintas fases de trabajo de la Investigación seguida en la Puesta a punto de la nueva planta piloto

<u>nº de Fase</u>	<u>1º día de Puesta en Marcha de la fase</u>	<u>Relleno en Reactor Biológico (Altura de material)</u>	<u>Filtro de Arena (Altura del material)</u>	<u>Caudal de aire (Kg.O₂/l - Nm³/m²/h)</u>	<u>Observaciones</u>
1	12 de Julio de 1.996	Relleno Cerámico (1 metro)	Arena Silícea (1,25 metros)	0,02 - 1,21	EA, LS
2				0,038 - 2,11	
3				0,048 - 2,72	
4				0,13 - 7,26	
5				0,31 - 17,55	
6	19 de Agosto de 1.996			0,88 - 49,7	VA, ELA, LS
7	3 de Septiembre de 1.996	Relleno Cerámico (1,5 metros)	Arena Silícea (1,25 metros)	0,15 - 8,47	VA, EA, LS
8				0,17 - 9,68	
9				0,63 - 35,72	
10	8 de Octubre de 1.996			0,2 - 11,2	VC, AA, LS
11				0,24 - 13,63	

✓ EA=Escasa aireación; AA=Aireación adecuada; ELA=Elevada aireación; LS=Lavados someros; VA=Válvula de la cámara de recirculación abierta; VC=Válvula de la cámara de recirculación cerrada.

✓ La Investigación de Fondo se inicia el 11 de Noviembre de 1.996.

9.2.4.2.- Relleno cerámico en Reactor Biológico (1 metro) y Arena silíceo en Filtro de Arena (1.25 metros)

9.2.4.2.1.- Fase con escasa aireación y lavados someros

Como se comentó anteriormente, esta fase da comienzo el **12 de Julio de 1.996**. Dada la importancia económica que juega la aireación en un filtro biológico inundado aireado, se inició la operación suministrando caudales de aire mínimos.

Pronto se comprobó que el oxígeno proporcionado al sistema era escaso y, gradualmente, se aumentó el caudal de aire aportado, saltando varios escalones desde los 0,02 Kg. O₂ / h (1,21 Nm³ / m² / h de aire) iniciales, hasta los 0,31 Kg. O₂ / h (17,55 Nm³ / m² / h de aire), alcanzados en una 5ª fase de trabajo. Entretanto, se había intercalado ensayo con 0,038, 0,048 y 0,13 Kg. O₂ / h (2,11, 2,72 y 7,26 Nm³ / m² / h de aire, respectivamente), aparte de las dos etapas ya mencionadas.

Llegados a este punto, se atisban tres problemas imprevistos:

- 1) Dada la escasa altura del relleno, el sensor incluido en los automatismos, que permite mantener la cota fija en el Reactor Biológico provocando el funcionamiento de la bomba de recirculación alcanzada una determinada pérdida de carga en la columna, quedaba

excesivamente alto, con lo que había que desechar su concurso para evitar una cota de agua demasiado importante sobre el material, lo que equivaldría a funcionar en mayor medida como fango activado que como biofiltro.

2) Puesto que la altura de relleno en el Reactor Biológico era inferior a la existente en el Filtro de Arena, no resultaba factible recircular el agua del primero al segundo, únicamente basándose en los principios de la fuerza de la gravedad.

Así, aparecía obligado usar la bomba de recirculación para desplazar el agua desde la primera columna a la segunda. El problema encontrado consistía en que si no se ajustaba exactamente el caudal de esta bomba al de agua de entrada bruta, podían ocurrir dos disfunciones del sistema:

2.1) El caudal de agua recirculada es superior al de agua bruta, con lo que el Reactor Biológico se vacía progresivamente y termina funcionando como un filtro percolador (lecho bacteriano).

2.2) El caudal de agua recirculada es inferior al de agua bruta, con lo que la cota del agua sobre el material de relleno en el Reactor Biológico aumenta progresivamente y termina funcionando como

un fango activado.

3) Los lavados se realizaban durante esta época en base a dos tipos de observaciones en los filtros:

3.1) Pérdida de carga producida por acumulación de sólidos retenidos y no eliminados.

3.2) Estado de la biomasa.

La periodicidad resultante de la aplicación de estos dos criterios en los lavados del reactor Biológico, resultaba en torno a 3 ó 4 días, variando en función de las cargas de trabajo aplicadas. Se intentó continuar con este régimen de lavados poco frecuentes durante más tiempo, modificando otros parámetros de funcionamiento en la búsqueda hacia niveles de depuración aceptables. La economicidad y ventajas que los escasos lavados proporcionan, bien merecía el intento.

Sin embargo, se observó que unos lavados tan espaciados provocaban un atascamiento progresivo del filtro, que a corto plazo no afectaba a las condiciones hidráulicas, las cuales se iban regenerando parcialmente con cada lavado.

Pero el aire suministrado desde la parte inferior del Reactor Biológico, encontraba una seria resistencia a su paso, que provocaba una bolsa de aire en la cámara de recogida del agua tratada bajo la columna, y la presión de éste llegaba a alcanzar valores que impedían el paso del agua por esta cámara en su desplazamiento hacia la aspiración de la bomba de recirculación, la cual quedaba descebada. En definitiva, se interrumpía el flujo de agua hacia el filtro de arena.

9.2.4.2.2.- Fase con válvula de la cámara de recirculación abierta, elevada aireación, lavados someros

La solución a todos estos problemas recién expuestos, se encontró en la disposición de una válvula, a modo de rebosadero o vertedero, instalada en la parte superior de la cámara de recogida de agua tratada situada bajo el Reactor Biológico, y que cumpliría una doble función:

- 1ª) Evacuación del exceso de caudal de agua bruta respecto al de agua recirculada. Siempre se intentaría ajustar ambos caudales, pero dada la imposibilidad de lograrlos idénticos, la tendencia sería a ajustar ligeramente superior el caudal de agua recirculada.

- 2ª) Despresurización del aire acumulado en la mencionada cámara.

Los resultados de esta fase no eran satisfactorios. Comenzó a dudarse de la viabilidad del sistema e, incluso, del tipo de relleno utilizado. Por ello, se decidió dar un salto cuantitativo importante en la cantidad de aire suministrado (en detrimento de la economía del sistema). De este modo, se comprobaría si el material, en efecto, era desechable para su uso en depuración de aguas residuales o si, por el contrario, eran otros los parámetros que influían negativamente en los niveles de depuración obtenidos.

Así fue como, tras las modificaciones pertinentes en la planta piloto, se comenzó a trabajar con una aireación de 0,88 Kg. O₂ / h (permaneciendo una válvula abierta en la cámara de recogida de agua tratada, situada a la salida del Reactor Biológico). El primer día operando en esta nueva fase de trabajo fue el **19 de Agosto de 1.996.**

Los resultados que se obtuvieron en los niveles de depuración mejoraron ostensiblemente, lo cual confirmaba que el material podía servir para los objetivos encomendados. Como quiera que la aireación era excesiva y a todas luces inviable económicamente, lo que parecía ponerse de manifiesto eran los escasos rendimientos provocados por una altura de relleno demasiado reducida.

En este punto, por tanto, se decide aumentar la altura de material de relleno en el Reactor Biológico hasta 1,5 metros. Por su parte, la reducción de

sólidos en el Filtro de Arena, su principal cometido, parecía seguir una línea adecuada, por lo que se concluyó con la conveniencia de mantener su altura durante un periodo de tiempo más prolongado.

9.2.4.3.- Relleno cerámico en Reactor Biológico (1,5 metros) y Arena silíceo en Filtro de Arena (1,25 metros)

9.2.4.3.1.- Fase con válvula de la cámara de recirculación abierta, aireación diversa, lavados someros

El propósito que había propiciado el incremento de altura de relleno no era otro, sino la reducción de aireación en el Reactor Biológico, compensando ésta con el previsible mayor rendimiento que iba a tener lugar al aumentar el tiempo de retención del agua en el biofiltro.

De este modo, se reinició la operación en la nueva planta piloto el día **3 de Septiembre de 1.996**. En esta nueva fase, se introducirían en el sistema 0,15 Kg. O₂ / h (8,47 Nm³ / m² / h de aire).

Los primeros resultados que se obtuvieron fueron esperanzadores, pero aún quedaban algo distantes de lo esperado, por lo que se incrementó la cantidad de aire suministrada hasta 0,17 Kg. O₂ / h (9,68 Nm³ / m² / h de aire). De nuevo, se repiten algunas impresiones observadas con anterioridad. Los niveles de

depuración no defraudan, pero se busca un sistema realmente eficiente y nos encontramos algo lejos de alcanzar rendimientos extraordinarios.

La confianza en el sistema no decae, y se vuelve a ejecutar idéntica operación a la efectuada en la fase correspondiente a 1 metro de Relleno cerámico en el Reactor Biológico. Se aborda una nueva fase en la que se alcanza una aireación de 0,63 Kg. O₂ / h (35,72 Nm³ / m² / h de aire). No se pretende la optimización del funcionamiento, pues se conoce el valor extraordinario que supone esta etapa en la aireación, pero se pretende volver a confirmar la viabilidad del sistema.

En esta etapa y, particularmente a la salida del Filtro de Arena, los resultados que se obtienen son bastante alentadores. Se alcanza una DBO₅ máxima de 36 mg/l y con un 75 % de conformidad de las muestras analizadas, con la Directiva 91/271 CEE; los análisis de DQO, por su parte, arrojan valores que se encuentran por debajo de 90 mg/l.

Es en estas circunstancias, en las que se considera inadmisibles continuar trabajando con una válvula abierta en la que, puede denominarse, "cámara de recirculación" (la cámara de recogida del agua tratada del Reactor Biológico y que, en el diseño inicial, preveía una única salida hacia la aspiración de la bomba de recirculación). Los motivos son, básicamente, los siguientes:

- 1) Aparece claro, a estas alturas, que el funcionamiento del Filtro de Arena depende en gran medida del funcionamiento del Reactor Biológico. En efecto, en el Filtro de Arena, una misma contaminación de entrada no se correspondía unívocamente con una misma contaminación de salida. La altura del relleno en el reactor Biológico o la aireación en éste (cantidad de oxígeno residual a la salida del reactor Biológico) influían en el funcionamiento del Filtro de Arena.

La existencia de la mencionada válvula en estado de apertura supone, como se explicó con anterioridad, que el caudal tratado por el Reactor Biológico no coincide exactamente con el del Filtro de Arena. Luego, resultaba contradictorio trabajar con independencia de caudales entre dos sistemas en los que los resultados que se obtuvieron confirmaban que no lo eran.

- 2) Aunque se conocía que una fracción del aire suministrado por la parte inferior del filtro y atravesando, sin remedio, la llamada cámara de recirculación, tenía que escaparse por la válvula abierta, los primeros ensayos demostraban que la proporción de aire que seguía este camino era más importante de lo esperado.

En efecto, para obtener niveles de depuración aceptables, había

sido obligado suministrar hasta 0,63 Kg. O₂ / h (35,72 Nm³ / m² / h de aire) en la fase con 1,5 metros de altura de relleno en el Reactor Biológico y 0,88 Kg. O₂ / h (35,72 Nm³ / m² / h de aire) en el caso de disponer 1 metro. Ambos caudales de aire resultaban excesivos.

9.2.4.3.2.- Fase con válvula de la cámara de recirculación cerrada, aireación adecuada, lavados someros

El **8 de Octubre de 1.996** se inicia la última fase de la Investigación seguida durante la Puesta a punto de la nueva planta piloto. Las condiciones de trabajo son ya muy similares a las que más tarde inspirarán la Investigación de Fondo. Se procede al cierre de la válvula instalada en la cámara de recirculación.

Dado que se estaba trabajando en esta época con 1,5 metros de relleno en el Reactor Biológico, el sensor que permitía medir la cota de agua sobre el material de relleno y, de esta forma, hacer funcionar la bomba de recirculación hacia el Filtro de Arena, ya se encontraba a una distancia de éste que permitía mantener una cota de agua sobre el material idónea para el funcionamiento de los filtros inundados.

El funcionamiento, a partir de este momento, intermitente de la bomba de recirculación, terminaba con el problema de la existencia de diferentes caudales de agua tratada por ambos filtros, pues al restablecer una cota prefijada en el

Reactor Biológico, los automatismos de la planta piloto detenían el funcionamiento de dicha bomba, hasta nuevamente alcanzarse una cota de agua también prefijada, que volvía a accionar la bomba de recirculación. En cuanto a la bolsa de aire presurizado que se formaba en la cámara de recirculación, se logró eliminar dicha presión conectando la válvula abierta a un temporizador, que se encargaba de provocar su apertura durante unos segundos cada quince minutos.

Los escalones de aireación que se ensayaron fueron dos: 0,2 Kg. O₂ / h (11,2 Nm³ / m² / h de aire) y 0,24 Kg. O₂ / h (13,63 Nm³ / m² / h de aire). Los resultados que se obtuvieron fueron muy satisfactorios. Sin embargo, al contrastar éstos con los marcados por la Directiva 91/271 CEE, los rendimientos obtenidos a la salida del Filtro de Arena solían rondar los exigidos por dicha Normativa, pretendiéndose alcanzar aún mejores resultados, particularmente a la salida del Reactor Biológico. De este modo, y optimizados ya muchos aspectos de la planta piloto, como anteriormente se ha venido describiendo, se descubrió la necesidad de optimizar la frecuencia de los lavados.

La necesidad de aumentar su agresividad o su periodicidad quedaba de manifiesto. Los lavados se hacían más penosos cada vez y se apreciaba cierta cantidad de fangos que se iban acumulando en el seno del filtro, sin que éstos se mostrasen capaces de eliminarlos.

9.3.- ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS ANALÍTICOS

9.3.1.- Introducción

Como se habrá comprobado hasta el momento, la Investigación seguida durante la Puesta a punto de la nueva planta piloto consistió en una búsqueda de las condiciones idóneas que permitiesen alcanzar óptimos niveles de depuración. En general, y en las primeras etapas en particular, los resultados aparecieron en gran medida dispersos. Mejores rendimientos suelen asociarse a menor dispersión y mayor calidad, si cabe la expresión, de los datos. Por otra parte, no se advirtieron diferencias significativas entre algunos grupos de datos de las fases expuestas en el subapartado anterior.

El análisis sobre eliminación y conversión de distintas manifestaciones de la materia nitrogenada, se desarrolla en un apartado final, síntesis de todos los datos de las distintas fases de trabajo de esta Tesis Doctoral.

Es por ello, que en el momento de analizar los datos recabados durante la época correspondiente a la Investigación seguida en la Puesta a punto de la nueva planta piloto, se agruparon éstos en la presentación, de tal modo que las distintas fases de trabajo se redujeron en número; en el cuadro siguiente, se presenta el estado definitivo de las mismas:

Cuadro 9.3.- Fases del análisis de resultados, en la Investigación seguida en la Puesta a punto de la nueva planta piloto

<i>n° de Fase de trabajo</i>	<i>n° de Fase en el análisis de resultados</i>	<i>Relleno en Reactor Biológico (Altura de material)</i>	<i>Filtro de Arena (Altura del material)</i>	<i>Caudal de aire (Kg.O₂/h)</i>	<i>Observaciones</i>
1	1	Relleno Cerámico (1 metro)	Arena Silíceo (1,25 metros)	Qaire < 0,1	EA, LS
2					
3					
4	2			0,1 < Qaire < 0,5	AA, LS
5					
6					
7	4	Relleno Cerámico (1,5 metros)	Arena Silíceo (1,25 metros)	Qaire < 0,2	VA, EA, LS
8					
9					
10	6			0,2 < Qaire < 0,24	VC, AA, LS
11					

✓ EA=Escasa aireación; AA=Aireación adecuada; ELA=Elevada aireación; LS=Lavados someros; VA=Válvula de la cámara de recirculación abierta; VC=Válvula de la cámara de recirculación cerrada.

✓ La Investigación de Fondo se inicia el 11 de Noviembre de 1.996.

9.3.2.- Análisis de los resultados analíticos

A lo largo de todo este noveno capítulo, se ha pretendido transmitir los problemas mecánicos causados durante la Puesta a punto de la nueva planta piloto. Estos imprevistos fueron remitiendo conforme se daba solución a los que iban apareciendo. Así, al inicio de la Investigación de Fondo, la situación encontrada es la de una planta perfectamente calibrada y de la que se controla, al menos, los aspectos relacionados con la operación: aireación, lavado, etc.

De este modo, se había cubierto el objetivo principal de toda Puesta a punto. Sin embargo, tantos y tan penosos meses de trabajo, quisieron aprovecharse para la toma de datos. Los mencionados problemas mecánicos impidieron en muchos casos la racionalización del proceso investigativo, o la consecución de una razonable dispersión de valores obtenidos en las muestras analizadas.

Es por todo lo anterior, que sólo puede aventurarse a afirmar lo que sigue sobre los resultados observados en esta fase de la investigación. La pretensión de alcanzar otras conclusiones obligaría al replanteamiento de algunas de las fases operadas. Sin ánimo de reiteración, se quiere subrayar el carácter de Puesta a punto de estos meses de trabajo, en mayor medida que Investigación de Choque, como así se ha plasmado en el título de este capítulo.

En primer lugar, se acompaña el cuadro que sintetiza el porcentaje de muestras conformes con las exigencias de la Directiva 91/271 CEE y que apoya el análisis pormenorizado, por fases, que se añade posteriormente

Cuadro 9.4.- Conformidad de los resultados con la Directiva 91/271 CEE

nº de Fase	Etapa del proceso	DQO	DBO₅ (límite: 80 %)	SS
1	Reactor Biológico	0	0	0
	Filtro de Arena	0	0	0
2	Reactor Biológico	0	0	0
	Filtro de Arena	0	10	55
3	Reactor Biológico	0	0	25
	Filtro de Arena	17	8	92
4	Reactor Biológico	0	0	29
	Filtro de Arena	14	0	100
5	Reactor Biológico	0	0	0
	Filtro de Arena	90	55	100
6	Reactor Biológico	8	0	46
	Filtro de Arena	54	31	54

9.3.2.1.- Fases 1ª, 2ª y 3ª: Relleno Cerámico (1 metro): Filtro de Arena (1,25 metros)

Nunca llegaron a alcanzarse valores de salida de **DBO₅**, próximos a los

establecidos por la Directiva 91/271 CEE como límite. En la Fase 1ª siempre se obtuvieron valores de este parámetro superiores a 100 mg/l a la salida del Reactor Biológico y, finalmente, de 75 mg/l tras el Filtro de Arena.

El incremento del aporte de oxígeno al sistema, se tradujo en una mejora progresiva y paralela de los resultados. Así, en la Fase 2ª, las muestras presentaron valores mínimos de 50 mg/l tras ambas etapas. Hasta 45 mg/l, después del Filtro de Arena, se consiguió durante la Fase 3ª, y pese a las cargas elevadas que se aplicaron.

En referencia a los SS, tampoco pueden calificarse de satisfactorios los resultados en estas fases. Los valores arrojados por las analíticas muestran límites inferiores, independientemente de la carga que se aplique, de 80 y 50 mg/l, para las fases 1ª y 2ª, respectivamente.

La fase 3ª consigue rebajar el umbral de 35 mg/l recogidos en la Directiva 91/271 CEE para cargas volumétricas de SS ($\text{Kg.SS} / \text{m}^3 / \text{d}$) inferiores a 2,7 (de entrada al reactor Biológico). Por tanto, se produce un avance, junto al aumento del volumen de oxígeno suministrado, pero aún lejos de los $4,35 \text{ Kg.SS} / \text{m}^3 / \text{día}$ que podían aplicarse, según conclusiones de la Investigación de Choque, con las condiciones ensayadas en su momento durante ese estadio de la Investigación.

En cuanto al Filtro de Arena, durante la fase 1ª siempre se superaron los 35 mg/l de la Directiva; en la fase 2ª, se mejoraban para una carga aplicada al Reactor Biológico inferior a 2,67 Kg.SS / m³ / día; y, durante la fase 3ª, ya siempre se lograron efluentes con concentraciones inferiores a 35 mg/l de SS.

9.3.2.2.- Fases 4ª, 5ª y 6ª: Relleno Cerámico (1.5 metros); Filtro de Arena (1.25 metros)

Respecto a la **DBO₅**, el incremento de la altura de relleno supuso, en primera instancia, un retroceso. Como era de esperar, con una aireación escasa y pérdidas debidas a la apertura de una válvula en la cámara de recirculación, se regresó a un estado de condiciones de trabajo con concentraciones superiores a 75 mg/l, incluso tras la segunda etapa de filtración.

De nuevo, el aumento cuantitativo del caudal de aire, se tradujo, ahora sí, en resultados muy alentadores, y muy estables, pues presentaron poca variabilidad en función de la carga aplicada. Así, se alcanzaron para la fase 5ª, 50 y 25 mg/l, casi constantes, de **DBO₅** a la salida del Reactor Biológico y Filtro de Arena, respectivamente.

En referencia a los **SS**, su concentración tomó valores máximos de 25 y 13 mg/l en las fases 4ª y 5ª, respectivamente, tras la etapa de filtración. Las muestras analizadas después del paso por el Reactor Biológico muestran que, durante la

fase 4ª, para cargas aplicadas al Reactor Biológico inferiores a 1,13 Kg.SS / m³ / día, los resultados mejoraban las exigencias de la Directiva 91/271 CEE, con lo que, de este modo, aventajaba a las dos primeras fases; pero, como era previsible, la carga máxima admisible resultaba inferior a los 2,7 Kg.SS / m³ / día (también referida al Reactor Biológico) correspondiente a la fase 3ª.

Los datos recabados durante la operación de la fase 6ª presentaron gran dispersión, lo que se achaca a insuficiencia en los lavados, en una etapa en la que se cierra la válvula de la cámara de recirculación y se disminuye el suministro de aire, concluyendo un período bastante prolongado de la Investigación en el que se intentó funcionar bajo un régimen de lavados, que finalmente se confirmó insuficiente por falta de energía administrada.

Aparte del inconveniente de la dispersión de datos comentada, se observa en el estudio comparativo de fases, una serie de aspectos que confirman lo recién explicado. En términos medios, la fase 6ª se reveló la segunda mejor en niveles de salida de DBO₅, después de la 5ª, y en número de muestras que quedaron bajo los 25 mg/l exigidos por la Directiva 91/271 CEE, ocurre exactamente igual: sólo es superada por la fase 5ª.

Sin embargo, es curioso observar que analizando los valores de salida de SS, aparece el fenómeno opuesto, aunque esta vez con la fase 1ª. Es decir, tanto

en niveles medios de salida de SS, como en comparativas de Conformidad con la Directiva 91/271 CEE, la fase 6ª ocupa el 5º puesto en dos hipotéticas clasificaciones, en las que sólo la fase 1ª presentó peores resultados en ambas. Este dato parece confirmar la idoneidad potencial de las condiciones de trabajo de esta fase, siempre y cuando se optimizara la potencia de los lavados, que presumiblemente mejoraría sustancialmente la eliminación de SS.

9.3.3.- Presentación gráfica de la relación entre variables y parámetros

Los gráficos que se insertan a continuación pretenden convertirse en muestra de todo lo expuesto hasta el momento sobre la Puesta a punto, y fundamenta las conclusiones que se pueden entresacar de toda la información recabada.

Estos gráficos son los relacionados a continuación:

Gráfico 9.1.- Fase nº1 (Puesta a punto en nueva planta piloto): Rendimiento medio de DBO, en distintas etapas del proceso

Gráfico 9.2.- Fase nº1 (Puesta a punto en nueva planta piloto): Rendimiento medio de SS, en distintas etapas del proceso

Gráfico 9.3.- Fase nº2 (Puesta a punto en nueva planta piloto): Rendimiento medio de DBO, en distintas etapas del proceso

Gráfico 9.4.- Fase nº3 (Puesta a punto en nueva planta piloto): Rendimiento medio de DBO, en distintas etapas del proceso

Gráfico 9.5.- Fase nº3 (Puesta a punto en nueva planta piloto): Rendimiento medio de SS, en distintas etapas del proceso

Gráfico 9.6.- Fase nº4 (Puesta a punto en nueva planta piloto): Rendimiento medio de DBO, en distintas etapas del proceso

Gráfico 9.7.- Fase nº4 (Puesta a punto en nueva planta piloto): Rendimiento medio de SS, en distintas etapas del proceso

Gráfico 9.8.- Fase nº5 (Puesta a punto en nueva planta piloto): Rendimiento medio de DBO, en distintas etapas del proceso

Gráfico 9.9.- Fase nº5 (Puesta a punto en nueva planta piloto): Rendimiento medio de SS, en distintas etapas del proceso

Gráfico 9.10.- Fase nº6 (Puesta a punto en nueva planta piloto): Rendimiento medio de DBO, en distintas etapas del proceso

Gráfico 9.11.- Comparación entre Fases (Puesta a punto en nueva planta piloto): Rendimientos medios de DBO

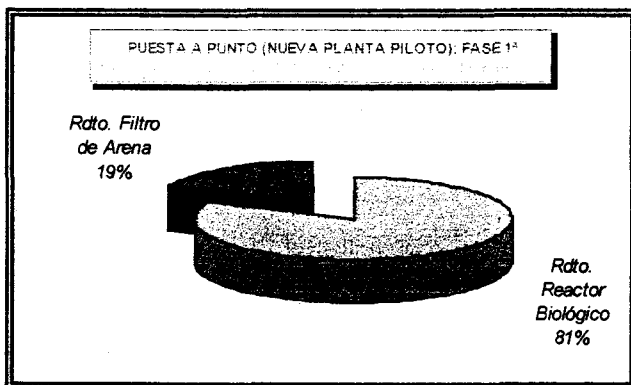
Gráfico 9.12.- Comparación entre Fases (Puesta a punto en nueva planta piloto): Niveles medios de salida de DBO

Gráfico 9.13.- Comparación entre Fases (Puesta a punto en nueva planta piloto): Niveles medios de salida de SS

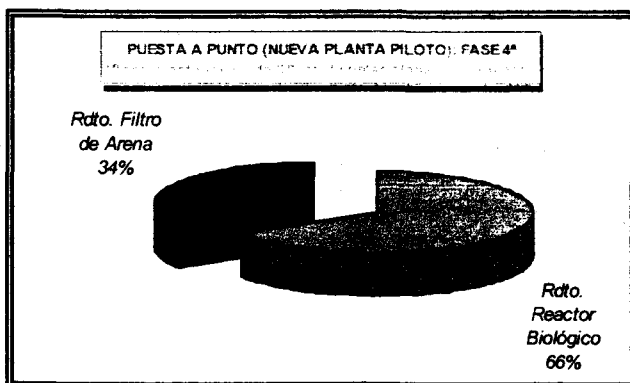
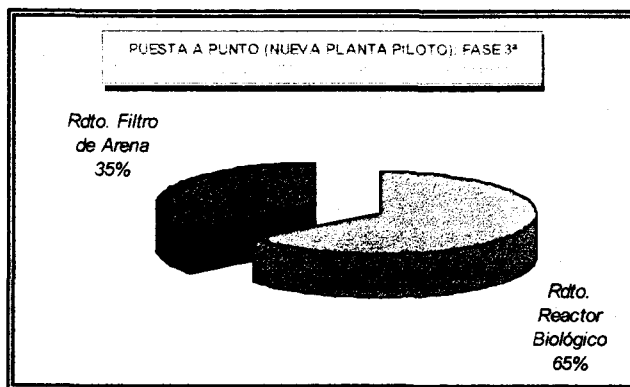
Gráfico 9.14.- Conformidad con la Directiva 91/271 CEE (Puesta a punto en nueva planta piloto): Niveles de salida de DBO

Gráfico 9.15.- Conformidad con la Directiva 91/271 CEE (Puesta a punto en nueva planta piloto): Niveles de salida de SS

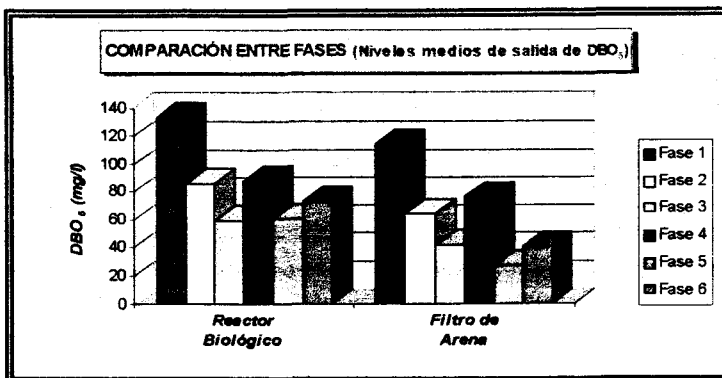
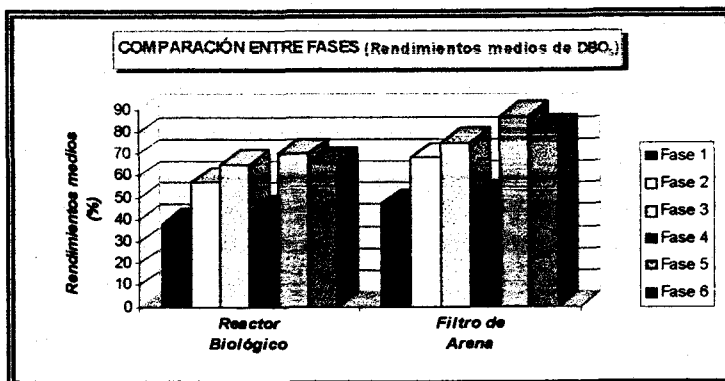
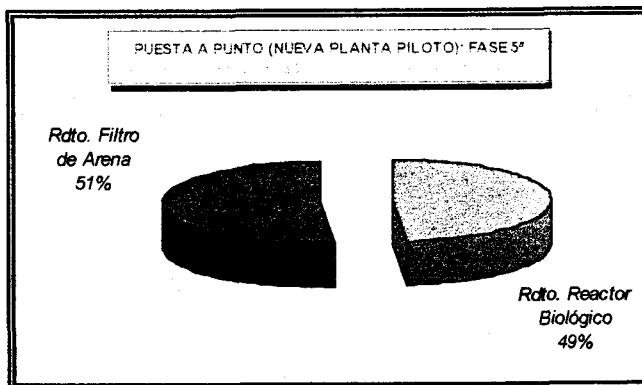
Gráfico 9.16.- Conformidad con la Directiva 91/271 CEE (Puesta a punto en nueva planta piloto): Niveles de salida de DQO



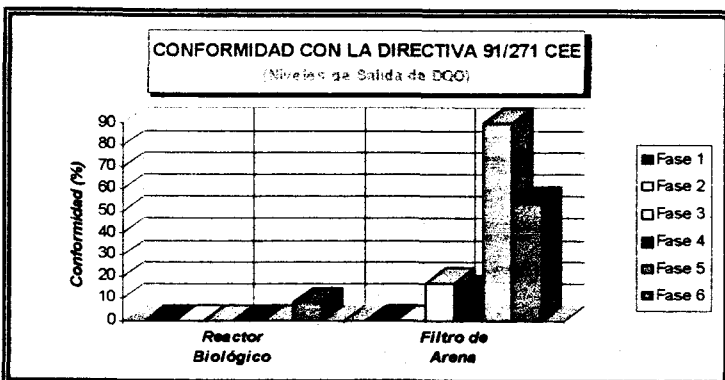
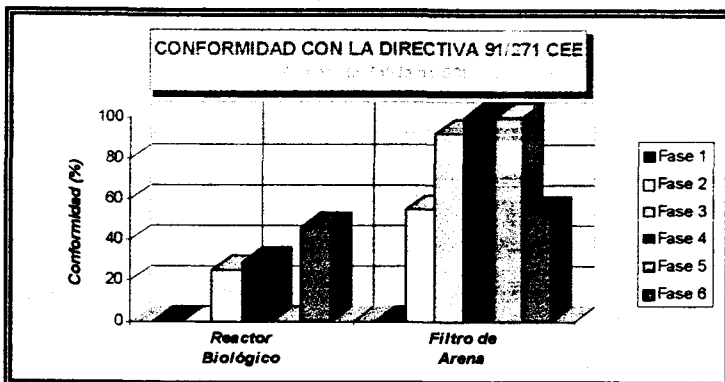
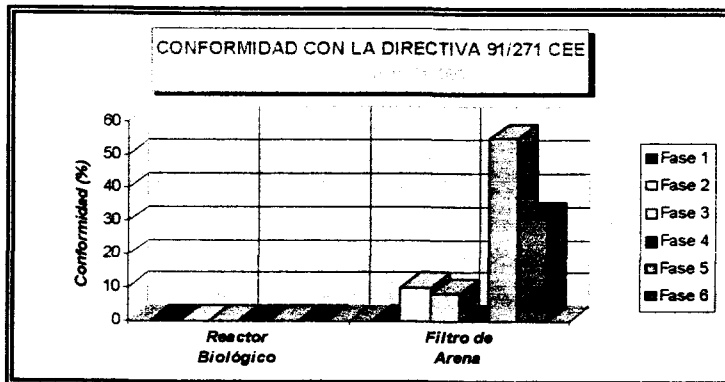
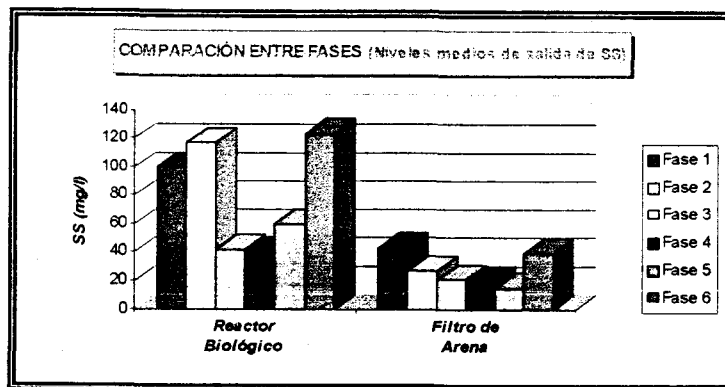
Gráficos 9.1, 9.2, 9.3 y 9.4



Gráficos 9.5, 9.6, 9.7 y 9.8



Gráficos 9.9, 9.10, 9.11 y 9.12



Gráficos 9.13, 9.14, 9.15 y 9.16

9.4.- CONCLUSIONES BÁSICAS DE LA INVESTIGACIÓN SEGUIDA DURANTE LA PUESTA A PUNTO DE LA NUEVA PLANTA PILOTO

Las siguientes conclusiones se unen a las expresadas en el capítulo de esta tesis correspondiente a "*Conclusiones Previas*". Básicamente, se pueden enunciar las siguientes:

1.-La altura de relleno de 1 metro en el Reactor Biológico (con Relleno Cerámico) se mostró *insuficiente*. Para ninguna de las fases de trabajo desarrolladas, se alcanzaron valores inferiores a 45 mg/l de DBO y, para lograr efluentes con SS < 35 mg/l, hubo que operar con aireaciones económicamente inviables, en circunstancias normales.

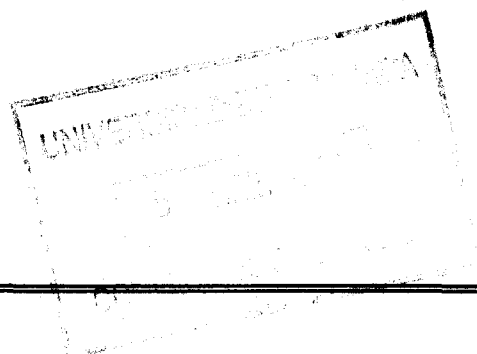
2.- La altura de relleno de 1,5 metros en el Reactor Biológico (con Relleno Cerámico) presentó una *mayor potencialidad* para la optimización del sistema que la altura de 1 metro, pues bajo el condicionante común de lavados someros y similares caudales de aire de proceso, alcanzó mejores resultados en DBO (hasta valores estables inferiores a 25 mg/l -fase 5ª, frente a 45 -fase 3ª) y en SS (logrando valores estables inferiores a 13 mg/l -fase 5ª, frente a 35 -fase 3ª).

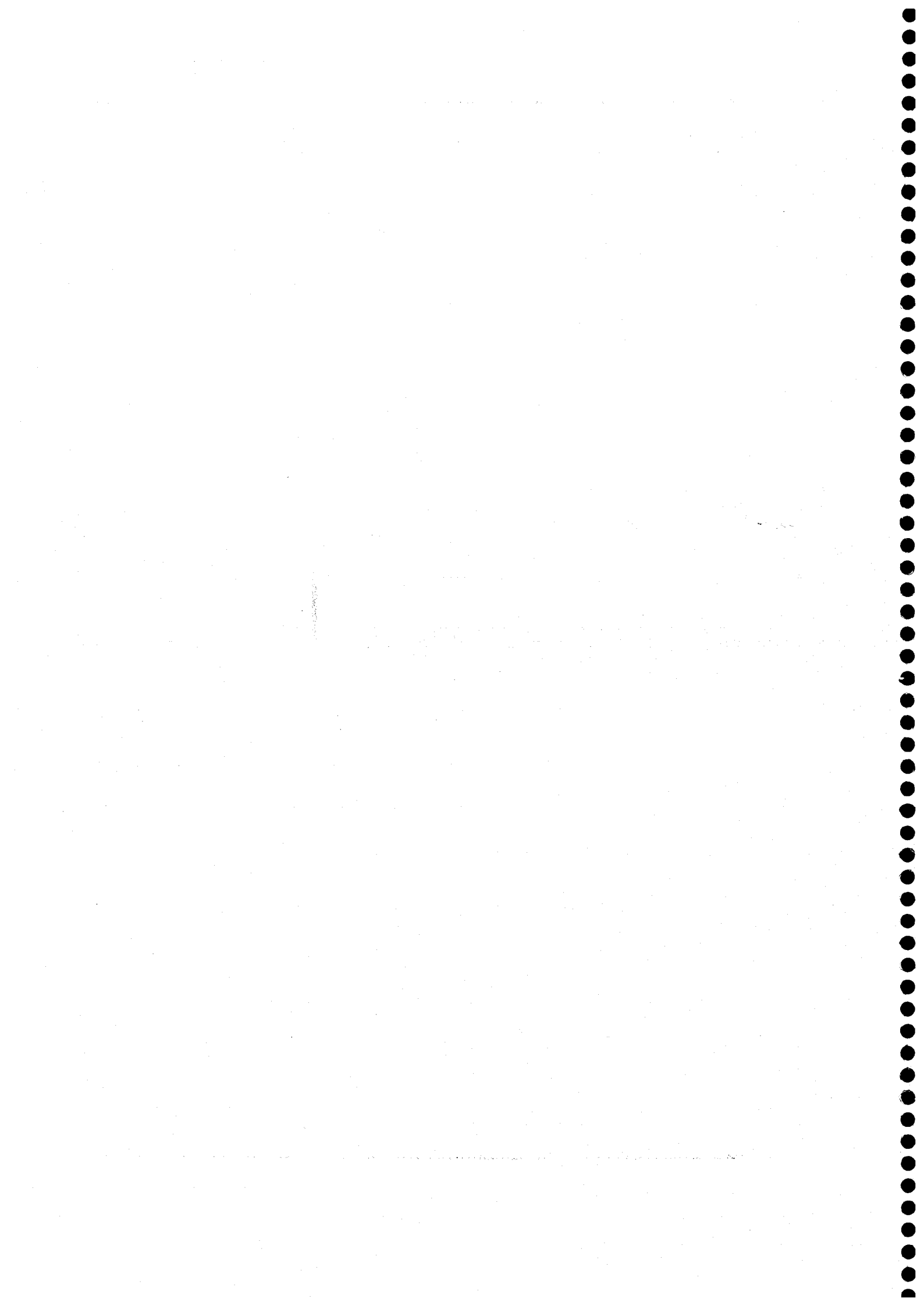
3.- Es necesario aumentar la potencia de los lavados, pudiendo presumirse que posibilitarán la adecuación de resultados con altura de relleno de 1,5 metros en

el Reactor Biológico, ya que los resultados con aireación escasa referentes a DBO se aproximaron a los de la fase con aireación elevada, mientras los de SS aparecieron bastante deficientes, en comparación con las otras fases de estudio. Un régimen de lavados adecuado asegura un buen comportamiento en la eliminación de SS. La eliminación de DBO es un proceso más complejo y se comporta bastante críticamente ante éste y, también, otros factores.

4.- La *aireación* influye en mayor medida sobre los resultados en eliminación de DBO, mientras que la eliminación de SS se muestra más crítica frente a la altura de relleno. Sobre éste y otros aspectos, se espera confirmación durante la venidera Investigación de Fondo, en la que se encuentra más optimizado el conjunto del sistema.

5.- El *peso de la contribución del Reactor Biológico* a la eliminación de DBO fue mucho mayor, mientras que la influencia, en los resultados, del Filtro de Arena se focalizó en la eliminación de SS, variando el porcentaje de la misma en las distintas fases. Al estudio se este aspecto se dedicarán grandes esfuerzos durante la próxima Investigación de Fondo.





10.1.- MODIFICACIÓN DEFINITIVA DE LAS BASES DE PARTIDA

10.1.1.- Modificaciones en la planta piloto

La Investigación de Fondo da comienzo el día **11 de Noviembre de 1.996**. Aparte de todas las modificaciones realizadas en la nueva planta piloto y descritas en los apartados anteriores a lo largo de los meses que duró la Investigación seguida durante la Puesta a punto, se llevó a cabo la siguiente, a raíz de las conclusiones que se obtuvieron de la misma, justo en los días previos a ese 11 de Noviembre:

-) Sustitución de la bomba de lavado en la nueva planta piloto. Aunque no se pudo instalar hasta el día **2 de Diciembre**, por motivos imputables al proveedor de la misma, con anterioridad ya se habían puesto en práctica lavados más enérgicos y más periódicos. La instalación de la nueva

bomba, mucho más potente, permitió lograr idénticos resultados en el lavado, reduciendo el número de ciclos en éste.

Las características de la nueva bomba de lavado se encuentran en el capítulo sobre "*Diseño de la nueva planta piloto*". Las necesidades se centraban más en el aspecto de la altura necesaria de impulsión que en caudal de bombeo. La nueva bomba era capaz de alcanzar 20 m de altura de impulsión, cifra ésta que se calculó con cierto margen de seguridad para cualquier tipo de situación que se pudiese plantear, como suma de los siguientes conceptos:

- ✓ 3 metros de un hipotético material, cuya densidad relativa al agua fuese de 3, lo que equivaldría a 9 m.c.a.
- ✓ Un máximo de 1 metro de agua sobre el material
- ✓ 0,7 metros, que es el desnivel existente entre el suelo y el inicio de las columnas.
- ✓ Rozamientos en conducciones y resistencias varias al paso del agua.

10.1.2.- Establecimiento de las bases para diseñar un Plan de Trabajo

A esta altura de la Investigación, ningún objetivo fue revisado respecto a los recogidos en el capítulo de "Modificaciones de las bases de partida", tras la Investigación de Choque. Igualmente, se adoptaron las mismas variables y parámetros.

Las experimentaciones desarrolladas durante la Investigación de Choque, tanto en la primera planta piloto, como en la Puesta a punto de la nueva, sirvieron para concluir afirmando la conveniencia de ensayar en la definitiva Investigación de Fondo, las siguientes alternativas de operación:

✓ *Relleno Cerámico*, con altura de trabajo de 1,5 metros (en el Reactor Biológico)

✓ *Filtración con arena silíceo*, posterior al Reactor Biológico

✓ *Relleno Doble Capa* (en el Reactor Biológico)

A continuación, se describen algunas de las particularidades que afectaron a los tres sistemas recién enumerados.

10.1.2.1.- Relleno Cerámico

Se continuó en todo momento aplicando el *flujo* contra-corriente de fluidos al Relleno Cerámico, dados los mejores resultados obtenidos, respecto al flujo co-corriente, en todas las Investigaciones de la Cátedra.

En cuanto a la *aireación*, en el Relleno Cerámico, y dados los pésimos resultados obtenidos en la Investigación de Choque con la nueva planta piloto para suministros inferiores a 0,2 Kg. O₂ / hora (11,2 Nm³ / m² / hora, de aire), se continuó probando con 0,2 Kg. O₂ / hora (11,2 Nm³ / m² / hora, de aire) y 0,7 Kg. O₂ / hora (38,75 Nm³ / m² / hora, de aire), igualmente a la Investigación de Choque en la primera planta piloto. La idea consiste en ensayar con una aireación preconcebida como adecuada por los estudios anteriores y otra que, a priori, se antoja excesiva, con la intención de contrastar resultados.

10.1.2.2.- Filtro de Arena

En el Filtro de Arena, el *flujo* de agua siempre fue descendente. La *altura de relleno* se estableció al principio en 1,25 metros (la misma altura con la que se venía ensayando en la Investigación de Choque). Sin embargo, posteriormente, se redujo hasta 0,75 metros. La razón que propició este cambio se encuentra en los resultados positivos obtenidos en la eliminación de SS con la altura inicial. De este modo, se pensó en la posibilidad de lograr un adecuado afino con alturas inferiores de relleno.

Por otra parte, *nunca se aireó*, centrando los objetivos a alcanzar con él, como se acaba de apuntar, en un afino de los Sólidos en Suspensión contenidos en el agua tratada por el Reactor Biológico y, al mismo tiempo, examinar la contribución exacta a la eliminación de DBO de una etapa de este tipo (tan económica desde el punto de vista de la explotación, dado el ahorro en gastos energéticos, por ausencia de soplantes para aireación de proceso).

10.1.2.3.- Relleno Doble Capa

El Relleno Doble Capa, como su nombre indica, está formado por una primera capa de relleno cerámico, y otra inferior de relleno plástico, previamente estudiado en otras investigaciones de la Cátedra. Con esta disposición mixta de ambos materiales se busca una complementación, pretendiendo aprovechar sus ventajas y, al tiempo, paliar sus defectos. Los objetivos esperados se fundamentaron en:

1) el Relleno Cerámico aporta el peso del que carece el plástico y del que se derivan sus mayores dificultades de explotación:

- ✓ desprendimiento repentino de la biomasa
- ✓ dificultades del lavado por flotación
- ✓ imposibilidad de suministrar elevados caudales de aire en caso de encontrarnos con hipotéticas necesidades exigentes

de depuración que así lo aconsejen

2) Por su parte, el relleno plástico aporta los buenos resultados que ya ha apuntado, así como:

- ✓ su menor peso, que supone menores necesidades de caudales de aire y agua de lavado
- ✓ por lo anterior, lavados más efectivos
- ✓ presencia más masiva de biopelícula, y de más rápido crecimiento

Al tratarse de una línea aún en fases iniciales de conocimiento, fue sometido a ambos tipos de *flujo* (contra-corriente y co-corriente), para comprobar la idoneidad de ambos.

En cuanto a la *aireación*, tras una primera fase con 0,2 Kg. O₂ / hora (11,2 Nm³ / m² / hora, de aire), se optó por reducir el volumen insuflado, hasta 0,13 Kg. O₂ / hora (7,26 Nm³ / m² / hora, de aire), ya que los resultados que se iban recabando aparecieron francamente satisfactorios.

Finalmente, en referencia a la *altura de relleno*, la total practicada fue de 1,3 metros para el flujo descendente de agua; con posterioridad, para el caso del

flujo ascendente, y por razón de pérdidas inevitables de material durante los ciclos del lavado durante la fase de flujo descendente, se operó con 1,1 metros de altura. El dispositivo utilizado para la separación de rellenos, se acompaña en el Anejo correspondiente al "Reportaje fotográfico".

La altura adecuada de cada uno de los rellenos, cerámico y plástico, se calculó en base a alcanzar un total entre ambos rellenos que se encontrase en una banda de altura en torno a 1,2 metros, la cual venía confirmando buenos niveles de depuración; junto al cumplimiento de unos condicionantes relacionados con el peso de los materiales y el aseguramiento de la estabilidad del sistema, dada la flotabilidad en agua del material inferior, el plástico.

Así pues, durante todo el tiempo de estudio del Relleno Doble Capa, existió una zona superior invariable de 0,7 metros, la ocupada por el relleno cerámico, puesto que este material no presentó pérdidas, dada su mayor densidad. La razón que motivó situar el Relleno plástico en la zona inferior fue, precisamente, evitar las pérdidas en los lavados (el agua y el aire se introducen con flujo ascendente).

Sin embargo, resultó imposible, pasando, con flujo descendente, de 0,72 metros iniciales a 0,48 finales (con 0,6 metros de media). En cuanto a la segunda fase, con flujo ascendente del agua, se inició con 0,48 metros y finalizó con 0,32

metros (teniéndose 0,4 metros de media).

10.2.- PLAN DE TRABAJO

10.2.1.- Rellenos utilizados

En esta Investigación de Fondo, se hizo uso de los siguientes materiales del relleno:

- ✓ Relleno Cerámico
- ✓ Relleno Plástico
- ✓ Arena silícea

Los dos primeros constituyeron el relleno filtrante de la primera columna de la planta piloto (Reactor Biológico), bien aisladamente el primero o ambos conjuntamente formando el relleno doble capa, y la arena silícea constituyó el material de la segunda columna (Filtro de Arena).

Para una más extensa información acerca de las características y naturaleza de los anteriores materiales, se remite al apartado descriptivo desarrollado al respecto en el capítulo "*Materiales y Métodos*", así como al Anejo correspondiente al *Reportaje fotográfico*, donde puede apreciarse una impresión visual de los mismos.

10.2.2.- Metodología para la toma de datos

La planificación de todos los aspectos relacionados con el muestreo coincide en todos sus extremos con la de la Investigación de Choque en la nueva planta piloto, con lo que se remite al capítulo precedente para mayor suerte de detalles. En dichos aspectos se incluyen: procedimiento de toma de muestras, selección de horas para la integración del muestreo, puntos de muestreo, periodicidad, y las analíticas realizadas a cada muestra en el laboratorio.

10.2.3.- Fases de trabajo en la Investigación de Fondo

La Investigación de Fondo comienza el **23 de Diciembre de 1.995.**

En base a la exposición desarrollada en el apartado introductorio de este Plan de Trabajo, las fases de operación adoptadas se muestran a continuación en un cuadro síntesis.

Cuadro 10.1.- Cuadro - síntesis de las distintas fases de trabajo en el periodo de Investigación de Choque

nº de Fase	1º día de Puesta en Marcha de la fase	Relleno en Reactor Biológico	Relleno en Filtro de Arena	Caudal de aire (Kg.O₂/h - Nm³/m²/h)
1	11 de Noviembre de 1.996	Relleno Cerámico	Arena Silícea	0,2 - 11,2
2	19 de Diciembre de 1.996	(1,5 metros)	(1,25 metros)	0,7 - 38,75
3	5 de Febrero de 1.997	Relleno Doble Capa	Arena Silícea	0,13 - 7,26
4	7 de Marzo de 1.997	(Flujo contra-corriente)	(0,75 metros)	0,2 - 11,2
5	8 de Abril de 1.997	Relleno Doble Capa (Flujo co-corriente)	Arena Silícea (0,75 metros)	0,13 - 7,26

10.3.- RESULTADOS ANALÍTICOS

10.3.1.- Fase nº1: Relleno Cerámico (1,5 metros); Filtro de Arena (1,25 metros); Caudal de aire = 0,2 Kg. O₂/hora (11,2 Nm³ / m² / h. de aire)

A continuación se insertan los cuadros de datos incluidos en la relación siguiente:

Cuadro 10.2.- Fase nº1 (I. Fondo): Datos de agua de entrada al Reactor Biológico (AB)

Cuadro 10.3.- Fase nº1 (I. Fondo): Datos de agua de salida del Reactor Biológico (AT1)

Cuadro 10.4.- Fase nº1 (I. Fondo): Datos de agua de salida del Filtro de Arena (AT2)

Cuadro 10.5.- Fase nº1 (I. Fondo): Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Reactor Biológico (AT1, respecto AB)

Cuadro 10.6.- Fase nº1 (I. Fondo): Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Filtro de Arena (AT2, respecto AB)

Cuadro 10.7.- Fase nº1 (I. Fondo): Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Filtro de Arena, respecto al Reactor Biológico (AT2, respecto AT1)

Cuadro 10.8.- Fase nº1 (I. Fondo): Datos de algunos parámetros referentes a la aireación

Cuadro 10.9.- Fase nº1 (I. Fondo): Conformidad de los resultados obtenidos, con la Dir. 91/271 CEE

Cuadro 10.2.- Fase nº1 (I. Fondo): Datos de agua de entrada al Reactor Biológico (AB)

Día	Caudal de agua (Vh)	pH	DQO (mg/l)	DBO₅ (mg/l)	SS (mg/l)
1	20	7,6	499	248	136
2	20	7,7	453	225	124
3	20	7,2	419	208	122
4	20	7,6	501	249	156
5	30	7,4	374	186	110
6	30	7,3	408	203	110
7	30	7,6	337	167	94
8	30	7,2	383	191	117
9	45	7,7	510	254	134
10	45	7,5	354	171	101
11	45	7,2	444	240	110
12	45	7,7	162	95	64
13	55	7,7	375	168	123
14	55	7,1	405	199	134
15	55	7,3	398	198	116
16	70	7,3	524	261	132

Día	Caudal de agua (l/h)	pH	DQO (mg/l)	DBO₅ (mg/l)	SS (mg/l)
17	70	7,2	602	300	163
18	70	7,7	365	182	121
19	70	7,7	184	160	76
20	85	7,3	565	281	146
21	85	7,3	600	299	148
22	85	7,4	534	271	127
23	85	7,6	522	260	118
24	130	7,7	428	213	106
25	130	7,5	296	150	108
26	170	7,2	371	187	94
27	170	7,3	330	164	90
28	210	7,1	401	200	138
29	210	7,5	392	189	112

Cuadro 10.3.- Fase n°1 (I. Fondo): Datos de agua de salida del Reactor Biológico (AT1)

Día	pH	DQO (mg/l)	DBO₅ (mg/l)	SS (mg/l)
1	7,8	49	13	5
2	7,5	63	18	8
3	7,2	78	21	6
4	8,0	52	14	10
5	7,5	56	14	3
6	7,7	75	20	8
7	7,3	66	18	4
8	7,5	152	38	12
9	7,8	129	33	25
10	7,7	97	25	10
11	7,2	47	13	5
12	7,4	86	22	15
13	7,8	66	18	10
14	7,8	75	17	12
15	7,3	318	82	33
16	7,7	104	28	17

<i>Día</i>	<i>pH</i>	<i>DQO (mg/l)</i>	<i>DBO₅ (mg/l)</i>	<i>SS (mg/l)</i>
17	8,0	113	30	16
18	7,8	109	28	18
19	7,8	63	16	23
20	7,3	170	45	23
21	7,4	132	36	14
22	7,7	128	32	18
23	7,4	135	37	15
24	7,6	139	37	25
25	7,7	88	22	18
26	7,5	155	43	25
27	7,6	132	37	21
28	7,5	233	63	48
29	7,6	218	59	39

Cuadro 10.4.- Fase n°1 (I. Fondo): Datos de agua de salida del Filtro de Arena (AT2)

<i>Día</i>	<i>pH</i>	<i>DQO (mg/l)</i>	<i>DBO₅ (mg/l)</i>	<i>SS (mg/l)</i>
1	7,6	11	3	0,8
2	7,3	17	5	2
3	7,8	13	4	1
4	7,6	6	2	1
5	7,7	47	13	2
6	7,7	49	12	4
7	7,4	52	14	2
8	8,0	77	21	2
9	7,8	77	21	9
10	7,8	43	11	9
11	7,5	41	12	2
12	7,6	41	11	3
13	7,7	48	13	3
14	7,9	67	15	4
15	7,6	129	35	3
16	8,0	100	26	9
17	7,9	109	29	11

Día	pH	DQO (mg/l)	DBO₅ (mg/l)	SS (mg/l)
18	7,4	95	26	9
19	8,0	40	11	4
20	7,3	72	19	13
21	8,2	86	24	8
22	7,7	79	25	7
23	7,8	85	28	10
24	7,4	96	27	12
25	7,8	82	19	8
26	7,4	99	31	14
27	8,1	81	25	11
28	7,4	198	55	31
29	7,9	175	51	24

Cuadro 10.5.- Fase n°1 (I. Fondo): Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Reactor Biológico (AT1, respecto AB)

Día	DQO (%)	DBO₅ (%)	SS (%)
1	90,2	94,8	96,3
2	86,1	92,0	93,5
3	81,4	89,9	95,1
4	89,6	94,4	93,6
5	85,0	92,5	97,3
6	81,6	90,1	92,7
7	80,4	89,2	95,7
8	60,3	80,1	89,7
9	74,7	87,0	81,3
10	72,6	85,4	90,1
11	89,4	94,6	95,5
12	46,9	76,8	76,6
13	82,4	89,3	91,9
14	81,5	91,5	91,0
15	20,1	58,6	71,6
16	80,2	89,3	87,1
17	81,2	90,0	90,2

<i>Día</i>	<i>DQO (%)</i>	<i>DBO₅ (%)</i>	<i>SS (%)</i>
18	70,1	84,6	85,1
19	65,8	90,0	69,7
20	69,9	84,0	84,2
21	78,0	88,0	90,5
22	76,0	88,2	85,8
23	74,1	85,8	87,3
24	67,5	82,6	76,4
25	70,3	85,3	83,3
26	58,2	77,0	73,4
27	60,0	77,4	76,7
28	41,9	68,5	65,2
29	44,4	68,8	65,2

Cuadro 10.6.- Fase n^o1 (I. Fondo): Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Filtro de Arena (AT2, respecto AB)

<i>Día</i>	<i>DQO (%)</i>	<i>DBO₅ (%)</i>	<i>SS (%)</i>
1	97,8	98,8	99,4
2	96,2	97,8	98,4
3	96,9	98,1	99,2
4	98,8	99,2	99,4
5	87,4	93,0	98,2
6	88,0	94,1	96,4
7	84,6	91,6	97,9
8	79,9	89,0	98,3
9	84,9	91,7	93,3
10	87,9	93,6	91,1
11	90,8	95,0	98,2
12	74,7	88,4	95,3
13	87,2	92,3	97,6
14	83,5	92,5	97,0
15	67,6	82,3	97,4
16	80,9	90,0	93,2
17	81,9	90,3	93,3

<u>Día</u>	<u>DQO (%)</u>	<u>DBO₅ (%)</u>	<u>SS (%)</u>
18	74,0	85,7	92,6
19	78,3	93,1	94,7
20	87,3	93,2	91,1
21	85,7	92,0	94,6
22	85,2	90,8	94,5
23	83,7	89,2	91,5
24	77,6	87,3	88,7
25	72,3	87,3	92,6
26	73,3	83,4	85,1
27	75,5	84,8	87,8
28	50,6	72,5	77,5
29	55,4	73,0	78,6

Cuadro 10.7.- Fase n°1 (I. Fondo): Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Filtro de Arena, respecto al Reactor Biológico (AT2, respecto AT1)

<u>Día</u>	<u>DQO (%)</u>	<u>DBO₅ (%)</u>	<u>SS (%)</u>
1	77,6	76,9	84,0
2	73,0	72,2	75,0
3	83,3	81,0	83,3
4	88,5	85,7	90,0
5	16,1	7,1	33,3
6	34,7	40,0	50,0
7	21,2	22,2	50,0
8	49,3	44,7	83,3
9	40,3	36,4	64,0
10	55,7	56,0	10,0
11	12,8	7,7	60,0
12	52,3	50,0	80,0
13	27,3	27,8	70,0
14	10,7	11,8	66,7
15	59,4	57,3	90,9
16	3,8	7,1	47,1
17	3,5	3,3	31,3

<i>Día</i>	<i>DQO (%)</i>	<i>DBO₅ (%)</i>	<i>SS (%)</i>
18	12,8	7,1	50,0
19	36,5	31,3	82,6
20	57,6	57,8	43,5
21	34,8	33,3	42,9
22	38,3	21,9	61,1
23	37,0	24,3	33,3
24	30,9	27,0	52,0
25	6,8	13,6	55,6
26	36,1	27,9	44,0
27	38,6	32,4	47,6
28	15,0	12,7	35,4
29	19,7	13,6	38,5

Cuadro 10.8.- Fase n^o1 (I. Fondo): Datos de algunos parámetros referentes a la aireación

<i>Día</i>	<i>Kg. O₂/l. Agua bruta</i>	<i>Kg. O₂/Kg. DBO₅ eliminado</i>
1	0,01	3,40
2	0,01	3,86
3	0,01	4,28
4	0,01	3,40
5	0,006	3,10
6	0,006	2,91
7	0,006	3,58
8	0,006	3,49
9	0,004	1,61
10	0,004	2,44
11	0,004	1,57
12	0,004	4,87
13	0,0035	1,94
14	0,0035	1,60
15	0,0035	2,51
16	0,003	0,98
17	0,003	0,85
18	0,003	1,48

<u>Día</u>	<u>Kg. O₂ / l. Agua bruta</u>	<u>Kg. O₂ / Kg. DBO₅ eliminado</u>
19	0,003	1,59
20	0,002	0,80
21	0,002	0,72
22	0,002	0,79
23	0,002	0,84
24	0,0015	0,70
25	0,0015	0,96
26	0,001	0,65
27	0,001	0,74
28	0,0009	0,56
29	0,0009	0,59

Cuadro 10.9.- Fase n°1 (I. Fondo): Conformidad de los resultados con la Dir. 91/271 CEE

<u>Parámetro de estudio</u>	<u>% conforme (a la salida del Reactor Biológico)</u>	<u>% conforme (a la salida del Filtro de Arena)</u>
DBO de salida	45	66
DQO de salida	59	90
SS de salida	93	100
Rendimiento de DBO (límite: 80 %)	90	93
Rendimiento de SS	76	100

10.3.2.- Fase n°2: Relleno Cerámico (1,5 metros); Filtro de Arena (1,25 metros); Caudal de aire = 0,7 Kg. O₂/hora (38,75 Nm³ / m² / h. de aire)

A continuación se insertan los cuadros de datos incluidos en la relación siguiente:

Cuadro 10.10.- Fase n°2 (I. Fondo): Datos de agua de entrada al Reactor Biológico (AB)

Cuadro 10.11.- Fase n°2 (I. Fondo): Datos de agua de salida del Reactor Biológico (AT1)

Cuadro 10.12.- Fase n°2 (I. Fondo): Datos de agua de salida del Filtro de Arena (AT2)

Cuadro 10.13.- Fase n°2 (I. Fondo): Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Reactor Biológico (AT1, respecto AB)

Cuadro 10.14.- Fase n°2 (I. Fondo): Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Filtro de Arena (AT2, respecto AB)

Cuadro 10.15.- Fase n°2 (I. Fondo): Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Filtro de Arena, respecto al Reactor Biológico (AT2, respecto AT1)

Cuadro 10.16.- Fase n°2 (I. Fondo): Datos de algunos parámetros referentes a la aireación

Cuadro 10.17.- Fase n°2 (I. Fondo): Conformidad de los resultados obtenidos, con la Dir. 91/271 CEE

Cuadro 10.10.- Fase n°2 (I. Fondo): Datos de agua de entrada al Reactor Biológico (AB)

Día	Caudal de agua (l/h)	pH	DQO (mg/l)	DBO₅ (mg/l)	SS (mg/l)
1	20	7,5	485	251	107
2	20	7,3	314	156	98
3	20	7,3	346	172	92
4	20	7,6	384	192	104
5	40	7,9	360	179	89
6	40	7,4	385	182	115
7	40	7,3	331	164	91
8	40	7,4	375	177	138
9	55	7,5	248	123	100
10	55	7,8	320	159	87
11	55	7,8	578	287	110
12	55	7,3	257	128	100
13	55	7,5	444	221	126
14	55	7,1	422	210	103
15	68	7,9	620	308	152
16	68	7,4	708	352	222
17	68	7,7	592	295	125

Día	Caudal de agua (l/h)	pH	DQO (mg/l)	DBO₅ (mg/l)	SS (mg/l)
18	68	7,7	310	152	98
19	85	7,3	248	123	100
20	85	7,0	531	264	122
21	85	7,8	540	269	136
22	85	7,9	547	272	116
23	120	7,7	449	227	120
24	120	7,0	403	200	106
25	120	7,4	403	200	106
26	120	7,8	314	156	92
27	120	7,6	542	270	98
28	165	7,3	483	240	108
29	165	7,5	469	213	132
30	215	7,7	438	225	110
31	215	7,3	405	201	90

Cuadro 10.11.- Fase n°2 (I. Fondo): Datos de agua de salida del Reactor Biológico (AT1)

Día	pH	DQO (mg/l)	DBO₅ (mg/l)	SS (mg/l)
1	7,4	132	33	5
2	7,5	71	20	7
3	7,7	68	23	6
4	7,3	127	32	17
5	7,8	91	23	4
6	7,4	81	24	5
7	7,4	66	16	3
8	7,8	72	20	3
9	7,6	141	38	42
10	8,0	79	20	28
11	7,7	195	49	25
12	8,1	56	15	3
13	7,7	104	26	3
14	7,8	100	27	4
15	7,6	118	30	16
16	8,0	120	33	14
17	7,9	113	28	11

<u>Día</u>	<u>pH</u>	<u>DQO (mg/l)</u>	<u>DBO₅ (mg/l)</u>	<u>SS (mg/l)</u>
18	7,5	91	24	12
19	7,5	150	39	21
20	7,6	186	50	28
21	8,1	100	26	18
22	7,6	170	45	31
23	7,9	314	85	55
24	7,4	166	41	26
25	7,7	193	49	49
26	7,9	164	44	40
27	8,0	243	65	31
28	7,7	233	63	37
29	7,6	185	50	30
30	8,1	301	80	56
31	7,4	241	67	45

Cuadro 10.12.- Fase n°2 (I. Fondo): Datos de agua de salida del Filtro de Arena (AT2)

<u>Día</u>	<u>pH</u>	<u>DQO (mg/l)</u>	<u>DBO₅ (mg/l)</u>	<u>SS (mg/l)</u>
1	7,7	66	19	1
2	8,1	37	10	3
3	7,7	22	6	1
4	7,6	107	30	5
5	7,3	27	7	2
6	7,9	59	16	2
7	7,9	45	12	0,5
8	7,7	41	11	3
9	7,9	66	18	12
10	8,0	68	18	10
11	7,5	118	33	0,4
12	8,0	52	14	2
13	7,4	38	10	1
14	8,0	59	16	2
15	7,3	88	25	3
16	7,9	76	20	3
17	8,1	79	22	4

Día	pH	DQO (mg/l)	DBO₅ (mg/l)	SS (mg/l)
18	8,0	59	16	4
19	7,8	120	33	11
20	8,0	97	27	14
21	7,2	72	19	9
22	7,4	109	29	7
23	7,2	177	50	21
24	7,8	125	35	13
25	7,8	91	26	19
26	7,5	125	35	12
27	8,1	88	24	11
28	7,8	166	45	22
29	7,9	131	37	15

Cuadro 10.13.- Fase n°2 (L.Fondo): Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Reactor Biológico (AT1, respecto AB)

Día	DQO (%)	DBO₅ (%)	SS (%)
1	72,8	86,9	95,3
2	77,4	87,2	92,9
3	80,3	86,6	93,5
4	66,9	83,3	83,7
5	74,7	87,2	95,5
6	79,0	86,8	95,7
7	80,1	90,2	96,7
8	80,8	88,7	97,8
9	43,1	69,1	58,0
10	75,3	87,4	67,8
11	66,3	82,9	77,3
12	78,2	88,3	97,0
13	76,6	88,2	97,6
14	76,3	87,1	96,1
15	81,0	90,3	89,5
16	83,1	90,6	93,7
17	80,9	90,5	91,2
18	70,6	84,2	87,8

<i>Día</i>	<i>DQO (%)</i>	<i>DBO₅ (%)</i>	<i>SS (%)</i>
19	39,5	68,3	79,0
20	65,0	81,1	77,0
21	81,5	90,3	86,8
22	68,9	83,5	73,3
23	30,1	62,6	54,2
24	58,8	79,5	75,5
25	52,1	75,5	53,8
26	47,8	71,8	56,5
27	55,2	75,9	68,4
28	51,8	73,8	65,7
29	60,6	76,5	77,3
30	31,3	64,4	49,1
31	40,5	66,7	50,0

Cuadro 10.14.- Fase n°2 (I. Fondo): Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Filtro de Arena (AT2, respecto AB)

<i>Día</i>	<i>DQO (%)</i>	<i>DBO₅ (%)</i>	<i>SS (%)</i>
1	86,4	92,4	99,1
2	88,2	93,6	96,9
3	93,6	96,5	98,9
4	72,1	84,4	95,2
5	92,5	96,1	97,8
6	84,7	91,2	98,3
7	86,4	92,7	99,5
8	89,1	93,8	97,8
9	73,4	85,4	88,0
10	78,8	88,7	88,5
11	79,6	88,5	99,6
12	79,8	89,1	98,0
13	91,4	95,5	99,2
14	86,0	92,4	98,1
15	85,8	91,9	98,0
16	89,3	94,3	98,6
17	86,7	92,5	96,8

Día	DQO (%)	DBO₅ (%)	SS (%)
18	81,0	89,5	95,9
19	51,6	73,2	89,0
20	81,7	89,8	88,5
21	86,7	92,9	93,4
22	80,1	89,3	94,0
23	60,6	78,0	82,5
24	69,0	82,5	87,7
25	77,4	87,0	82,1
26	60,2	77,6	87,0
27	83,8	91,1	88,8
28	65,6	81,3	79,6
29	72,1	82,6	88,6

Cuadro 10.15.- Fase n°2 (I. Fondo): Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Filtro de Arena, respecto al Reactor Biológico (AT2, respecto AT1)

Día	DQO (%)	DBO₅ (%)	SS (%)
1	50,0	42,4	80,0
2	47,9	50,0	57,1
3	67,6	73,9	83,3
4	15,7	6,3	70,6
5	70,3	69,6	50,0
6	27,2	33,3	60,0
7	31,8	25,0	83,3
8	43,1	45,0	0,0
9	53,2	52,6	71,4
10	13,9	10,0	64,3
11	39,5	32,7	98,4
12	7,1	6,7	33,3
13	63,5	61,5	66,7
14	41,0	40,7	50,0
15	25,4	16,7	81,3
16	36,7	39,4	78,6
17	30,1	21,4	63,6
18	35,2	33,3	66,7

<u>Día</u>	<u>DQO (%)</u>	<u>DBO₅ (%)</u>	<u>SS (%)</u>
19	20,0	15,4	47,6
20	47,8	46,0	50,0
21	28,0	26,9	50,0
22	35,9	35,6	77,4
23	43,6	41,2	61,8
24	24,7	14,6	50,0
25	52,8	46,9	61,2
26	23,8	20,5	70,0
27	63,8	63,1	64,5
28	28,8	28,6	40,5
29	29,2	26,0	50,0

Cuadro 10.16.- Fase n°2 (I. Fondo): Datos de algunos parámetros referentes a la aireación

<u>Día</u>	<u>Kg. O₂/l. Agua bruta</u>	<u>Kg. O₂/Kg. DBO₅ eliminado</u>
1	0,035	12,84
2	0,035	20,59
3	0,035	18,79
4	0,035	17,50
5	0,017	8,97
6	0,017	8,86
7	0,017	9,46
8	0,017	8,92
9	0,012	11,98
10	0,012	7,33
11	0,012	4,28
12	0,012	9,01
13	0,012	5,22
14	0,012	5,56
15	0,01	2,96
16	0,01	2,58
17	0,01	3,08
18	0,01	6,43
19	0,008	7,84
20	0,008	3,08

Día	Kg. O₂/l. Agua bruta	Kg. O₂/Kg. DBO₅ eliminado
21	0,008	2,71
22	0,008	2,90
23	0,006	3,29
24	0,006	2,94
25	0,006	3,09
26	0,006	4,17
27	0,006	2,28
28	0,004	1,92
29	0,004	2,08
30	0,003	1,80
31	0,003	1,94

Cuadro 10.17.- Fase n°2 (I. Fondo): Conformidad de los resultados con la Dir. 91/271 CEE

Parámetro de estudio	% conforme (a la salida del Reactor Biológico)	% conforme (a la salida del Filtro de Arena)
DBO de salida	29	60
DQO de salida	48	86
SS de salida	77	59
Rendimiento de DBO (límite: 80 %)	84	100
Rendimiento de SS	52	97

10.3.3.- Fase nº3: Relleno Doble Capa (Flujo contra-corriente); Filtro de Arena (0,75 metros); Caudal de aire = 0,13 Kg. O₂/hora (7,26 Nm³ / m² / h, de aire)

A continuación se insertan los cuadros de datos incluidos en la relación siguiente:

Cuadro 10.18.- Fase nº3 (I. Fondo): Datos de agua de entrada al Reactor Biológico (AB)

Cuadro 10.19.- Fase nº3 (I. Fondo): Datos de agua de salida del Reactor Biológico (AT1)

Cuadro 10.20.- Fase nº3 (I. Fondo): Datos de agua de salida del Filtro de Arena (AT2)

Cuadro 10.21.- Fase nº3 (I. Fondo): Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Reactor Biológico (AT1, respecto AB)

Cuadro 10.22.- Fase nº3 (I. Fondo): Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Filtro de Arena (AT2, respecto AB)

Cuadro 10.23.- Fase nº3 (I. Fondo): Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Filtro de Arena, respecto al Reactor Biológico (AT2, respecto AT1)

Cuadro 10.24.- Fase nº3 (I. Fondo): Datos de algunos parámetros referentes a la aireación

Cuadro 10.25.- Fase nº3 (I. Fondo): Conformidad de los resultados obtenidos, con la Dir. 91/271 CEE

Cuadro 10.18.- Fase nº3 (I. Fondo): Datos de agua de entrada al Reactor Biológico (AB)

<u>Día</u>	<u>Caudal de agua (l/h)</u>	<u>pH</u>	<u>DQO (mg/l)</u>	<u>DBO₅ (mg/l)</u>	<u>SS (mg/l)</u>
1	25	7,7	522	250	100
2	25	7,6	484	290	116
3	25	7,6	549	277	121
4	25	7,8	459	230	108
5	50	7,7	553	280	148
6	50	8,1	421	220	96

Día	Caudal de agua (l/h)	pH	DQO (mg/l)	DBO₅ (mg/l)	SS (mg/l)
7	50	7,4	390	230	100
8	50	7,8	461	180	110
9	60	7,4	580	340	144
10	60	7,7	561	272	132
11	60	7,5	479	245	118
12	60	7,6	549	270	126
13	70	7,7	571	300	132
14	70	7,5	598	260	108
15	70	8,2	508	238	106
16	70	7,7	527	251	119
17	100	7,9	421	205	96
18	100	7,6	493	246	115

Cuadro 10.19.- Fase n°3 (I. Fondo): Datos de agua de salida del Reactor Biológico (AT1)

Día	pH	DQO (mg/l)	DBO₅ (mg/l)	SS (mg/l)
1	7,6	78	15	14
2	7,8	66	17	10
3	7,0	61	10	8
4	7,9	75	14	12
5	7,7	101	16	16
6	7,6	84	15	12
7	7,6	79	19	13
8	7,9	86	14	14
9	7,5	121	27	22
10	7,9	97	17	16
11	7,3	88	19	14
12	8,2	92	18	18
13	7,8	141	19	23
14	7,9	175	30	38
15	7,3	152	25	33
16	8,3	166	27	35
17	7,6	120	22	31
18	7,7	123	24	28

Cuadro 10.20.- Fase n°3 (I. Fondo): Datos de agua de salida del Filtro de Arena (AT2)

<u>Día</u>	<u>pH</u>	<u>DQO (mg/l)</u>	<u>DBO₅ (mg/l)</u>	<u>SS (mg/l)</u>
1	7,6	33	8	6
2	7,6	28	12	8
3	7,8	31	8	6
4	7,6	35	10	7
5	7,7	46	11	8
6	8,1	42	12	6
7	7,4	50	15	7
8	7,8	41	9	8
9	8,0	80	25	12
10	7,6	52	15	5
11	7,4	63	18	8
12	7,9	70	21	9
13	7,5	82	22	10
14	7,5	116	32	16
15	7,4	91	26	13
16	7,4	95	27	14
17	7,2	98	26	21
18	7,5	93	24	16

Cuadro 10.21.- Fase n°3 (I. Fondo): Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Reactor Biológico (AT1, respecto AB)

<u>Día</u>	<u>DQO (%)</u>	<u>DBO₅ (%)</u>	<u>SS (%)</u>
1	85,1	94,0	86,0
2	86,4	94,1	91,4
3	88,9	96,4	93,4
4	83,7	93,9	88,9
5	81,7	94,3	89,2
6	80,0	93,2	87,5
7	79,7	91,7	87,0
8	81,3	92,2	87,3

<i>Día</i>	<i>DQO (%)</i>	<i>DBO₅ (%)</i>	<i>SS (%)</i>
9	79,1	92,1	84,7
10	82,7	93,8	87,9
11	81,6	92,2	88,1
12	83,2	93,3	85,7
13	75,3	93,7	82,6
14	70,7	88,5	64,8
15	70,1	89,5	68,9
16	68,5	89,2	70,6
17	71,5	89,3	67,7
18	75,1	90,2	75,7

Cuadro 10.22.- Fase n^o3 (I. Fondo): Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Filtro de Arena (AT2, respecto AB)

<i>Día</i>	<i>DQO (%)</i>	<i>DBO₅ (%)</i>	<i>SS (%)</i>
1	93,7	96,8	94,0
2	94,2	95,9	93,1
3	94,4	97,1	95,0
4	92,4	95,7	93,5
5	91,7	96,1	94,6
6	90,0	94,5	93,8
7	87,2	93,5	93,0
8	91,1	95,0	92,7
9	86,2	92,6	91,7
10	90,7	94,5	96,2
11	86,8	92,7	93,2
12	87,2	92,2	92,9
13	85,6	92,7	92,4
14	80,6	87,7	85,2
15	82,1	89,1	87,7
16	82,0	89,2	88,2
17	76,7	87,3	78,1
18	81,1	90,2	86,1

Cuadro 10.23.- Fase n°3 (I. Fondo): Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Filtro de Arena, respecto al Reactor Biológico (AT2, respecto AT1)

Día	DQO (%)	DBO₅ (%)	SS (%)
1	57,7	46,7	57,1
2	57,6	29,4	20,0
3	49,2	20,0	25,0
4	53,3	28,6	41,7
5	54,5	31,3	50,0
6	50,0	20,0	50,0
7	36,7	21,1	46,2
8	52,3	35,7	42,9
9	33,9	7,4	45,5
10	46,4	11,8	68,8
11	28,4	5,3	42,9
12	23,9	-16,7	50,0
13	41,8	-15,8	56,5
14	33,7	-6,7	57,9
15	40,1	-4,0	60,6
16	42,8	0,0	60,0
17	18,3	-18,2	32,3
18	24,4	0,0	42,9

Cuadro 10.24.- Fase n°3 (I. Fondo): Datos de algunos parámetros referentes a la aireación

Día	Kg. O₂ / l. Agua bruta	Kg. O₂ / Kg. DBO₅ eliminado
1	0,005	1,77
2	0,005	1,52
3	0,005	1,56
4	0,005	1,93

<i>Día</i>	<i>Kg. O₂ / l. Agua bruta</i>	<i>Kg. O₂ / Kg. DBO₅ eliminado</i>
5	0,0026	0,79
6	0,0026	1,01
7	0,0026	0,99
8	0,0026	1,25
9	0,002	0,55
10	0,002	0,68
11	0,002	0,77
12	0,002	0,69
13	0,002	0,53
14	0,002	0,65
15	0,005	0,70
16	0,005	0,66
17	0,0013	0,57
18	0,0013	0,47

Cuadro 10.25.- Fase n°3 (I. Fondo): Conformidad de los resultados con la Dir. 91/271 CEE

<i>Parámetro de estudio</i>	<i>% conforme (a la salida del Reactor Biológico)</i>	<i>% conforme (a la salida del Filtro de Arena)</i>
<i>DBO de salida</i>	81	75
<i>DQO de salida</i>	78	100
<i>SS de salida</i>	89	100
<i>Rendimiento de DBO (límite: 80 %)</i>	100	100
<i>Rendimiento de SS</i>	78	100

10.3.4.- Fase nº4: Relleno Doble Capa (Flujo Contra-corriente); Filtro de Arena (0,75 metros); Caudal de aire = 0,2 Kg. O₂/hora (11,2 Nm³ / m² / h, de aire)

A continuación se insertan los cuadros de datos incluidos en la relación siguiente:

Cuadro 10.26.- Fase nº4 (I. Fondo): Datos de agua de entrada al Reactor Biológico (AB)

Cuadro 10.27.- Fase nº4 (I. Fondo): Datos de agua de salida del Reactor Biológico (AT1)

Cuadro 10.28.- Fase nº4 (I. Fondo): Datos de agua de salida del Filtro de Arena (AT2)

Cuadro 10.29.- Fase nº4 (I. Fondo): Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Reactor Biológico (AT1, respecto AB)

Cuadro 10.30.- Fase nº4 (I. Fondo): Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Filtro de Arena (AT2, respecto AB)

Cuadro 10.31.- Fase nº4 (I. Fondo): Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Filtro de Arena, respecto al Reactor Biológico (AT2, respecto AT1)

Cuadro 10.32.- Fase nº4 (I. Fondo): Datos de algunos parámetros referentes a la aireación

Cuadro 10.33.- Fase nº4 (I. Fondo): Conformidad de los resultados obtenidos, con la Dir. 91/271 CEE

Cuadro 10.26.- Fase nº4 (I. Fondo): Datos de agua de entrada al Reactor Biológico (AB)

<u>Día</u>	<u>Caudal de agua (l/h)</u>	<u>pH</u>	<u>DQO (mg/l)</u>	<u>DBO₅ (mg/l)</u>	<u>SS (mg/l)</u>
1	25	7,1	561	272	122
2	25	7,0	535	280	288
3	25	7,3	560	250	114
4	35	7,7	499	247	132
5	35	7,4	601	270	158
6	35	7,7	520	240	118

Día	Caudal de agua (l/h)	pH	DQO (mg/l)	DBO₅ (mg/l)	SS (mg/l)
7	50	7,3	461	233	192
8	50	7,3	580	290	114
9	50	7,2	567	286	124
10	50	7,6	587	288	122
11	50	7,8	522	270	98
12	50	7,1	486	230	106
13	50	7,1	517	235	108
14	70	7,5	531	262	102
15	70	7,1	551	250	116
16	70	7,0	551	260	118
17	70	7,9	378	243	98
18	70	7,5	508	257	128
19	70	7,0	483	239	133
20	100	7,0	387	201	108
21	100	7,8	408	199	103
22	100	7,4	398	200	82
23	100	7,9	549	210	106

Cuadro 10.27.- Fase n°4 (I. Fondo): Datos de agua de salida del Reactor Biológico (AT1)

Día	pH	DQO (mg/l)	DBO₅ (mg/l)	SS (mg/l)
1	7,6	43	11	9
2	7,4	35	7	12
3	7,5	60	12	6
4	7,5	27	5	9
5	8,0	64	13	10
6	7,7	49	10	11
7	7,9	32	8	8
8	7,2	138	25	26
9	8,1	71	9	16
10	7,5	107	19	17
11	7,8	76	15	16
12	7,8	73	14	13
13	7,8	123	23	11

<i>Día</i>	<i>pH</i>	<i>DQO (mg/l)</i>	<i>DBO₅ (mg/l)</i>	<i>SS (mg/l)</i>
14	7,2	97	20	13
15	7,8	68	15	17
16	7,8	66	14	16
17	7,5	86	18	18
18	7,5	88	19	20
19	7,4	56	10	16
20	7,9	83	20	18
21	7,9	98	23	20
22	7,8	77	19	17
23	7,6	95	22	22

Cuadro 10.28.- Fase n^o4 (I. Fondo): Datos de agua de salida del Filtro de Arena (AT2)

<i>Día</i>	<i>pH</i>	<i>DQO (mg/l)</i>	<i>DBO₅ (mg/l)</i>	<i>SS (mg/l)</i>
1	7,0	15	4	4
2	7,1	3	1	5
3	7,0	13	3	3
4	7,1	2	1	4
5	7,7	51	14	7
6	7,3	32	9	8
7	7,4	20	6	7
8	7,1	91	25	7
9	7,2	50	13	5
10	8,2	72	20	6
11	7,8	52	14	9
12	7,3	62	17	7
13	7,8	81	23	6
14	7,6	79	22	8
15	7,0	47	14	10
16	8,3	44	13	7
17	7,6	57	17	6
18	7,3	70	19	12
19	7,4	34	9	8
20	7,3	62	18	9

Día	pH	DQO (mg/l)	DBO₅ (mg/l)	SS (mg/l)
21	7,3	75	24	8
22	7,2	60	16	12
23	7,2	83	19	15

Cuadro 10.29.- Fase n⁴ (I. Fondo): Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Reactor Biológico (AT1, respecto AB)

Día	DQO (%)	DBO₅ (%)	SS (%)
1	92,3	96,0	92,6
2	93,5	97,5	95,8
3	89,3	95,2	94,7
4	94,6	98,0	93,2
5	89,4	95,2	93,7
6	90,6	95,8	90,7
7	93,1	96,6	95,8
8	76,2	91,4	77,2
9	87,5	96,9	87,1
10	81,8	93,4	86,1
11	85,4	94,4	83,7
12	85,0	93,9	87,7
13	76,2	90,2	89,8
14	81,7	92,4	87,3
15	87,7	94,0	85,3
16	88,0	94,6	86,4
17	77,2	92,6	81,6
18	82,7	92,6	84,4
19	88,4	95,8	88,0
20	78,6	90,0	83,3
21	76,0	88,4	80,6
22	80,7	90,5	79,3
23	82,7	89,5	79,2

Cuadro 10.30.- Fase n°4 (I. Fondo): Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Filtro de Arena (AT2, respecto AB)

<u>Día</u>	<u>DQO (%)</u>	<u>DBO₅ (%)</u>	<u>SS (%)</u>
1	97,3	98,5	96,7
2	99,4	99,6	98,3
3	97,7	98,8	97,4
4	99,6	99,6	97,0
5	91,5	94,8	95,6
6	93,8	96,3	93,2
7	95,7	97,4	96,4
8	84,3	91,4	93,9
9	91,2	95,5	96,0
10	87,7	93,1	95,1
11	90,0	94,8	90,8
12	87,2	92,6	93,4
13	84,3	90,2	94,4
14	85,1	91,6	92,2
15	91,5	94,4	91,4
16	92,0	95,0	94,1
17	84,9	93,0	93,9
18	86,2	92,6	90,6
19	93,0	96,2	94,0
20	84,0	91,0	91,7
21	81,6	87,9	92,2
22	84,9	92,0	85,4
23	84,9	91,0	85,8

Cuadro 10.31.- Fase n°4 (I. Fondo): Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Filtro de Arena, respecto al Reactor Biológico (AT2, respecto AT1)

<u>Día</u>	<u>DQO (%)</u>	<u>DBO₅ (%)</u>	<u>SS (%)</u>
1	65,1	63,6	55,6
2	91,4	85,7	58,3
3	78,3	75,0	50,0

Día	DQO (%)	DBO₅ (%)	SS (%)
4	92,6	80,0	55,6
5	20,3	-7,7	30,0
6	34,7	10,0	27,3
7	37,5	25,0	12,5
8	34,1	0,0	73,1
9	29,6	-44,4	68,8
10	32,7	-5,3	64,7
11	31,6	6,7	43,8
12	15,1	-21,4	46,2
13	34,1	0,0	45,5
14	18,6	-10,0	38,5
15	30,9	6,7	41,2
16	33,3	7,1	56,3
17	33,7	5,6	66,7
18	20,5	0,0	40,0
19	39,3	10,0	50,0
20	25,3	10,0	50,0
21	23,5	-4,3	60,0
22	22,1	15,8	29,4
23	12,6	13,6	31,8

Cuadro 10.32.- Fase n⁴ (I. Fondo): Datos de algunos parámetros referentes a la aireación

Día	Kg. O₂ / l. Agua bruta	Kg. O₂ / Kg. DBO₅ (g/g)
1	0,008	2,45
2	0,008	2,34
3	0,008	2,69
4	0,006	1,89
5	0,006	1,78
6	0,006	1,99
7	0,004	1,42
8	0,004	1,21
9	0,004	1,16
10	0,004	1,19

<u>Día</u>	<u>Kg. O₂/l. Agua bruta</u>	<u>Kg. O₂/Kg. DBO_{5,eliminado}</u>
11	0,004	1,25
12	0,004	1,48
13	0,004	1,51
14	0,003	0,94
15	0,003	0,97
16	0,003	0,93
17	0,003	1,02
18	0,003	0,96
19	0,003	1,00
20	0,002	0,88
21	0,002	0,91
22	0,002	0,88
23	0,002	0,85

Cuadro 10.33.- Fase n^º4 (I. Fondo): Conformidad de los resultados con la Dir. 91/271 CEE

<u>Parámetro de estudio</u>	<u>% conforme (a la salida del Reactor Biológico)</u>	<u>% conforme (a la salida del Filtro de Arena)</u>
DBO de salida	98	98
DQO de salida	96	100
SS de salida	100	100
Rendimiento de DBO (límite: 80 %)	100	100
Rendimiento de SS	100	100

10.3.5.- Fase n°5: Relleno Doble Capa (Flujo Co-corriente); Filtro de Arena (0,75 metros); Caudal de aire = 0,13 Kg. O₂/hora (7,26 Nm³ / m² / h, de aire)

A continuación se insertan los cuadros de datos incluidos en la relación siguiente:

Cuadro 10.34.- Fase n°5 (I. Fondo): Datos de agua de entrada al Reactor Biológico (AB)

Cuadro 10.35.- Fase n°5 (I. Fondo): Datos de agua de salida del Reactor Biológico (AT1)

Cuadro 10.36.- Fase n°5 (I. Fondo): Datos de agua de salida del Filtro de Arena (AT2)

Cuadro 10.37.- Fase n°5 (I. Fondo): Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Reactor Biológico (AT1, respecto AB)

Cuadro 10.38.- Fase n°5 (I. Fondo): Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Filtro de Arena (AT2, respecto AB)

Cuadro 10.39.- Fase n°5 (I. Fondo): Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Filtro de Arena, respecto al Reactor Biológico (AT2, respecto AT1)

Cuadro 10.40.- Fase n°5 (I. Fondo): Datos de algunos parámetros referentes a la aireación

Cuadro 10.41.- Fase n°5 (I. Fondo): Conformidad de los resultados obtenidos, con la Dir. 91/271 CEE

Cuadro 10.34.- Fase n°5 (I. Fondo): Datos de agua de entrada al Reactor Biológico (AB)

Día	Caudal de agua (l/h)	pH	DQO (mg/l)	DBO₅ (mg/l)	SS (mg/l)
1	25	7,4	297	148	116
2	25	7,4	468	233	208
3	25	7,0	463	230	108
4	25	7,3	365	130	99
5	37	7,5	450	224	72
6	37	7,4	492	245	80
7	37	7,0	452	225	72
8	37	7,5	473	235	78

<u>Día</u>	<u>Caudal de agua (l/h)</u>	<u>pH</u>	<u>DQO (mg/l)</u>	<u>DBO₅ (mg/l)</u>	<u>SS (mg/l)</u>
9	50	7,4	537	268	125
10	50	7,3	501	254	110
11	50	7,5	517	259	102
12	50	7,3	562	280	82
13	50	7,3	609	303	108
14	50	7,2	591	292	110
15	50	7,0	530	310	102
16	60	7,2	490	244	96
17	60	7,1	454	226	144
18	60	7,3	471	241	150
19	60	7,0	531	264	144
20	75	7,2	540	269	108
21	75	7,4	576	286	132
22	75	7,0	342	170	60
23	75	7,3	583	290	90
24	100	7,4	481	239	104
25	100	7,0	504	251	78
26	100	7,2	414	206	88

Cuadro 10.35.- Fase n°5 (I. Fondo): Datos de agua de salida del Reactor Biológico (AT1)

<u>Día</u>	<u>pH</u>	<u>DQO (mg/l)</u>	<u>DBO₅ (mg/l)</u>	<u>SS (mg/l)</u>
1	7,7	63	19	12
2	7,8	97	20	15
3	7,5	75	14	14
4	7,7	77	15	12
5	7,7	62	18	13
6	7,7	95	22	24
7	8,2	93	16	17
8	7,7	82	15	19
9	7,2	178	35	20
10	7,5	109	20	18
11	7,7	113	24	26
12	7,2	95	17	22

Día	pH	DQO (mg/l)	DBO₅ (mg/l)	SS (mg/l)
13	7,6	138	25	28
14	7,3	175	32	34
15	7,5	152	31	57
16	7,2	140	25	32
17	7,4	131	24	22
18	7,2	120	26	18
19	7,5	113	23	18
20	7,2	93	19	19
21	7,6	153	35	54
22	8,1	101	28	25
23	7,6	137	29	30
24	7,5	143	33	49
25	7,6	168	39	32
26	7,7	157	38	29

Cuadro 10.36.- Fase n°5 (I. Fondo): Datos de agua de salida del Filtro de Arena (AT2)

Día	pH	DQO (mg/l)	DBO₅ (mg/l)	SS (mg/l)
1	7,5	23	8	5
2	8,0	38	10	7
3	7,6	33	10	10
4	8,0	36	9	8
5	7,5	50	13	16
6	7,9	86	22	13
7	7,4	38	11	7
8	7,8	45	12	11
9	7,5	123	33	10
10	8,1	54	15	9
11	7,7	91	25	18
12	7,7	52	15	9
13	7,4	88	24	15
14	7,5	118	32	30
15	8,2	116	32	38
16	7,4	68	21	15

<u>Día</u>	<u>pH</u>	<u>DQO (mg/l)</u>	<u>DBO₅ (mg/l)</u>	<u>SS (mg/l)</u>
17	8,0	88	24	13
18	7,7	102	27	14
19	8,2	82	21	12
20	7,4	71	19	8
21	7,5	111	33	36
22	7,5	85	20	10
23	7,6	103	28	17
24	7,9	108	26	28
25	7,7	123	32	18
26	7,5	115	25	17

Cuadro 10.37.- Fase n°5 (I. Fondo): Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Reactor Biológico (AT1, respecto AB)

<u>Día</u>	<u>DQO (%)</u>	<u>DBO₅ (%)</u>	<u>SS (%)</u>
1	78,8	87,2	89,7
2	79,3	91,4	92,8
3	83,8	93,9	87,0
4	78,9	88,5	87,9
5	86,2	92,0	81,9
6	80,7	91,0	70,0
7	79,4	92,9	76,4
8	82,7	93,6	75,6
9	66,9	86,9	84,0
10	78,2	92,1	83,6
11	78,1	90,7	74,5
12	83,1	93,9	73,2
13	77,3	91,7	74,1
14	70,4	89,0	69,1
15	71,3	90,0	44,1
16	71,4	89,8	66,7
17	71,1	89,4	84,7
18	74,5	89,2	88,0
19	78,7	91,3	87,5
20	82,8	92,9	82,4

Día	DQO (%)	DBO₅ (%)	SS (%)
21	73,4	87,8	59,1
22	70,5	83,5	58,3
23	76,5	90,0	66,7
24	70,3	86,2	52,9
25	66,7	84,5	59,0
26	62,1	81,6	67,0

Cuadro 10.38.- Fase n°5 (I. Fondo): Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Filtro de Arena (AT2, respecto AB)

Día	DQO (%)	DBO₅ (%)	SS (%)
1	92,3	94,6	95,7
2	91,9	95,7	96,6
3	92,9	95,7	90,7
4	90,1	93,1	91,9
5	88,9	94,2	77,8
6	82,5	91,0	83,8
7	91,6	95,1	90,3
8	90,5	94,9	85,9
9	77,1	87,7	92,0
10	89,2	94,1	91,8
11	82,4	90,3	82,4
12	90,7	94,6	89,0
13	85,6	92,1	86,1
14	80,0	89,0	72,7
15	78,1	89,7	62,7
16	86,1	91,4	84,4
17	80,6	89,4	91,0
18	78,3	88,8	90,7
19	84,6	92,0	91,7
20	86,9	92,9	92,6
21	80,7	88,5	72,7
22	75,1	88,2	83,3
23	82,3	90,3	81,1
24	77,5	89,1	73,1

<u>Día</u>	<u>DQO (%)</u>	<u>DBO₅ (%)</u>	<u>SS (%)</u>
25	75,6	87,3	76,9
26	72,2	87,9	80,7

Cuadro 10.39.- Fase n°5 (I. Fondo): Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Filtro de Arena, respecto al Reactor Biológico (AT2, respecto AT1)

<u>Día</u>	<u>DQO (%)</u>	<u>DBO₅ (%)</u>	<u>SS (%)</u>
1	63,5	57,9	58,3
2	60,8	50,0	53,3
3	56,0	28,6	28,6
4	53,2	40,0	33,3
5	19,4	27,8	-23,1
6	9,5	0,0	45,8
7	59,1	31,3	58,8
8	45,1	20,0	42,1
9	30,9	5,7	50,0
10	50,5	25,0	50,0
11	19,5	-4,2	30,8
12	45,3	11,8	59,1
13	36,2	4,0	46,4
14	32,6	0,0	11,8
15	23,7	-3,2	33,3
16	51,4	16,0	53,1
17	32,8	0,0	40,9
18	15,0	-3,8	22,2
19	27,4	8,7	33,3
20	23,7	0,0	57,9
21	27,5	5,7	33,3
22	15,8	28,6	60,0
23	24,8	3,4	43,3
24	24,5	21,2	42,9
25	26,8	17,9	43,8
26	26,8	34,2	41,4

Cuadro 10.40.- Fase n°5 (I. Fondo): Datos de algunos parámetros referentes a la aireación

<u>Día</u>	<u>Kg. O₂/l. Agua bruta</u>	<u>Kg. O₂/Kg. DBO₅ eliminado</u>
1	0,0052	3,22
2	0,0052	1,95
3	0,0052	1,93
4	0,0052	3,62
5	0,0035	1,36
6	0,0035	1,26
7	0,0035	1,34
8	0,0035	1,28
9	0,003	0,89
10	0,003	0,89
11	0,003	0,89
12	0,003	0,79
13	0,003	0,75
14	0,003	0,80
15	0,003	0,75
16	0,002	0,79
17	0,002	0,86
18	0,002	0,81
19	0,002	0,72
20	0,0017	0,55
21	0,0017	0,55
22	0,0017	0,98
23	0,0017	0,53
24	0,0013	0,50
25	0,0013	0,49
26	0,0013	0,62

Cuadro 10.41.- Fase n°5 (I. Fondo): Conformidad de los resultados con la Dir. 91/271 CEE

<u>Parámetro de estudio</u>	<u>% conforme (a la salida del Reactor Biológico)</u>	<u>% conforme (a la salida del Filtro de Arena)</u>
DBO de salida	58	65
DQO de salida	58	100
SS de salida	85	92
Rendimiento de DBO (límite: 80 %)	100	100
Rendimiento de SS	12	46

10.3.6.- Representación gráfica de algunos resultados, en función del tiempo

Gráfico 10.1.- Fase n°1 (I. Fondo): DBO de entrada y salida / Tiempo

Gráfico 10.2.- Fase n°1 (I. Fondo): SS de entrada y salida / Tiempo

Gráfico 10.3.- Fase n°2 (I. Fondo): DBO de entrada y salida / Tiempo

Gráfico 10.4.- Fase n°2 (I. Fondo): SS de entrada y salida / Tiempo

Gráfico 10.5.- Fase n°3 (I. Fondo): DBO de entrada y salida / Tiempo

Gráfico 10.6.- Fase n°3 (I. Fondo): SS de entrada y salida / Tiempo

Gráfico 10.7.- Fase n°4 (I. Fondo): DBO de entrada y salida / Tiempo

Gráfico 10.8.- Fase n°4 (I. Fondo): SS de entrada y salida / Tiempo

Gráfico 10.9.- Fase n°5 (I. Fondo): DBO de entrada y salida / Tiempo

Gráfico 10.10.- Fase n°5 (I. Fondo): SS de entrada y salida / Tiempo

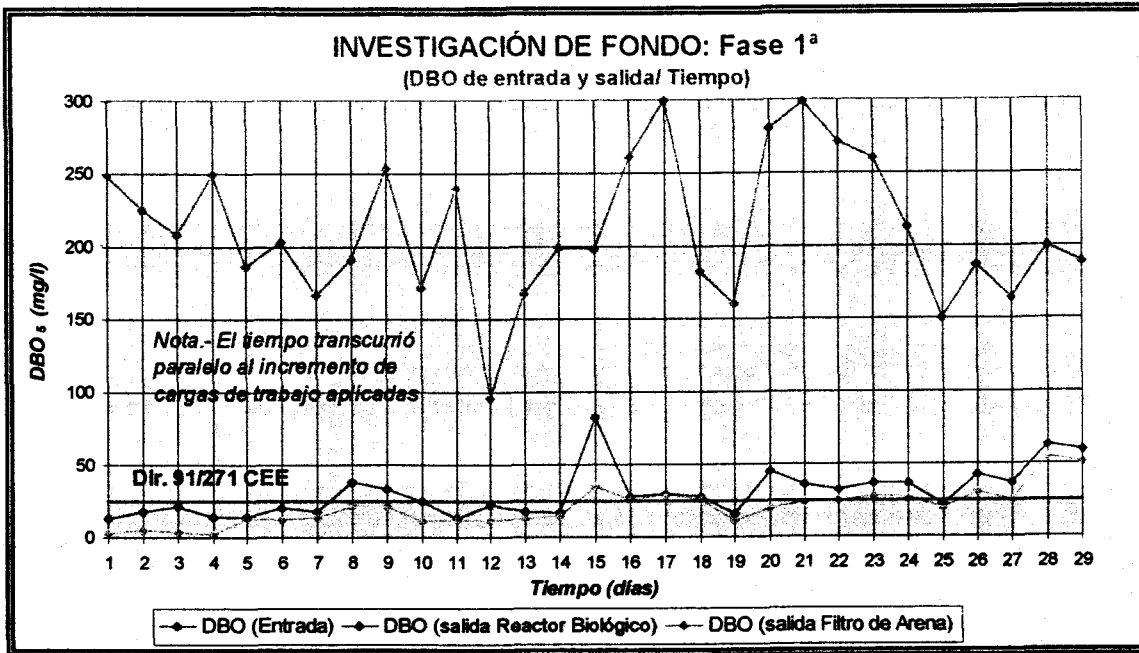


Gráfico 10.1

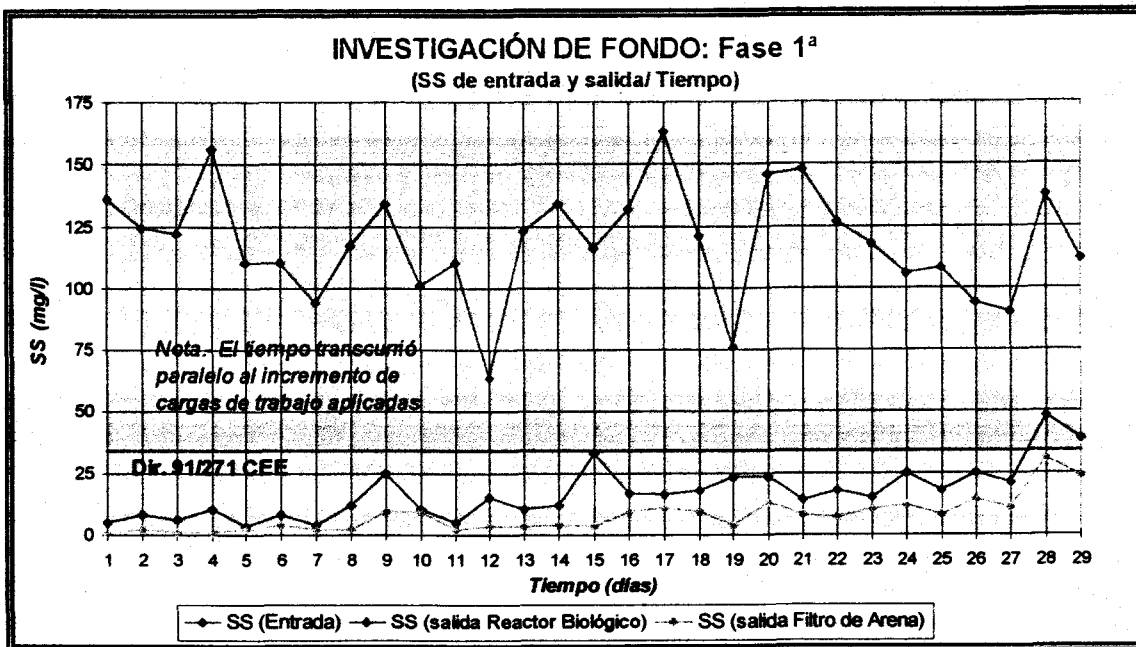


Gráfico 10.2

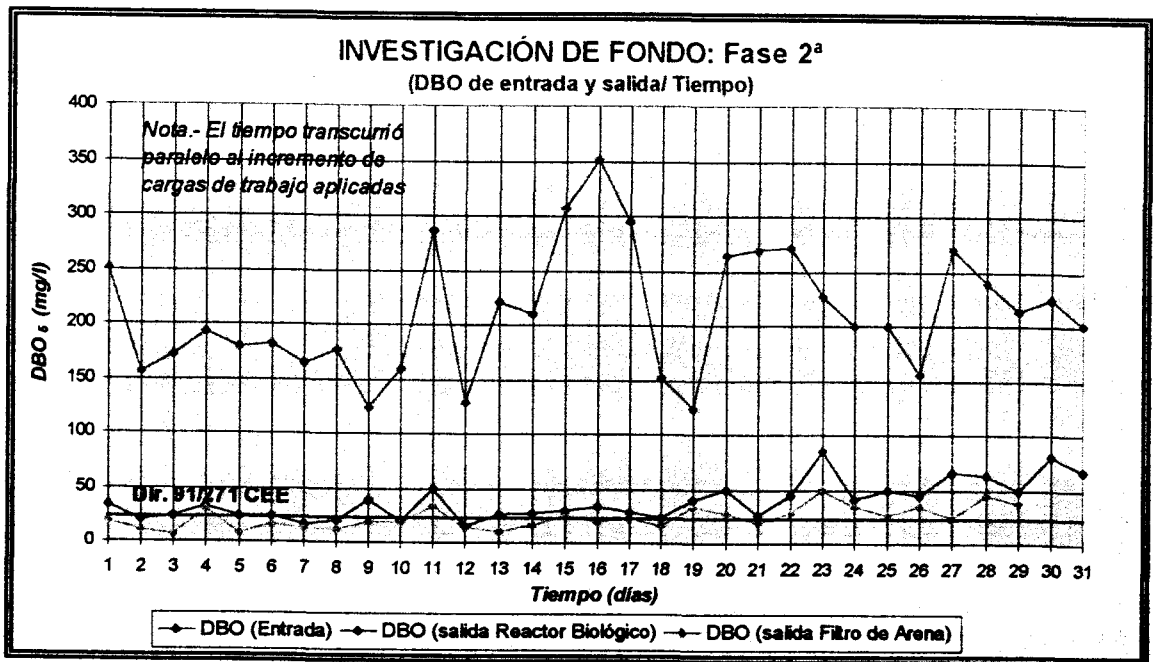


Gráfico 10.3

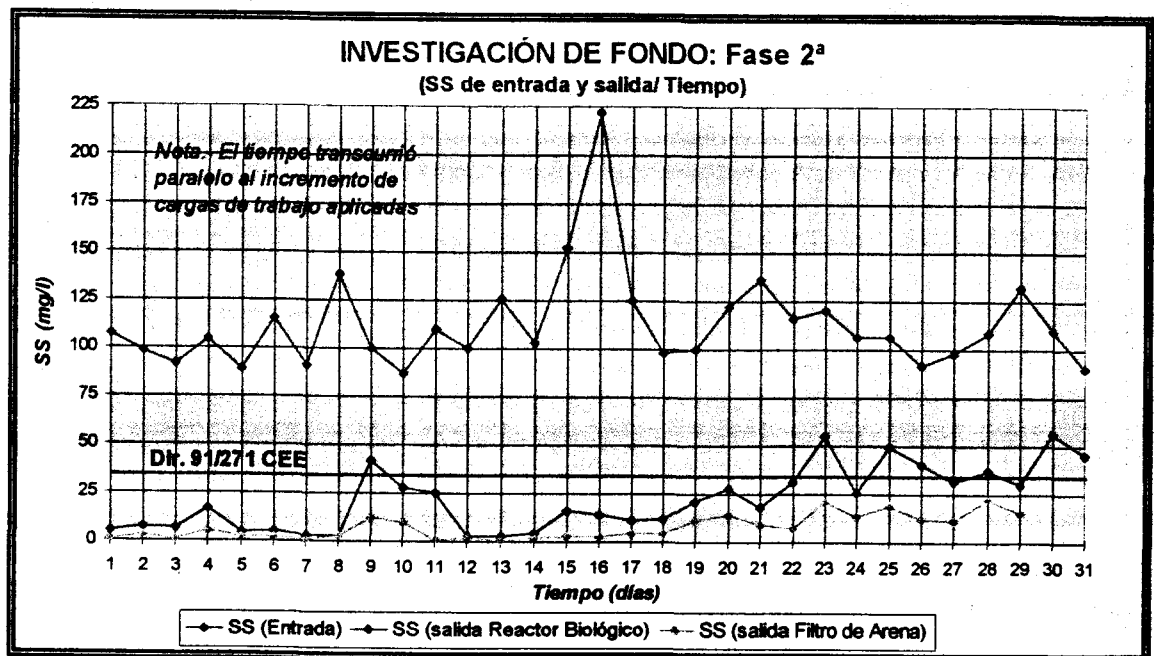


Gráfico 10.4

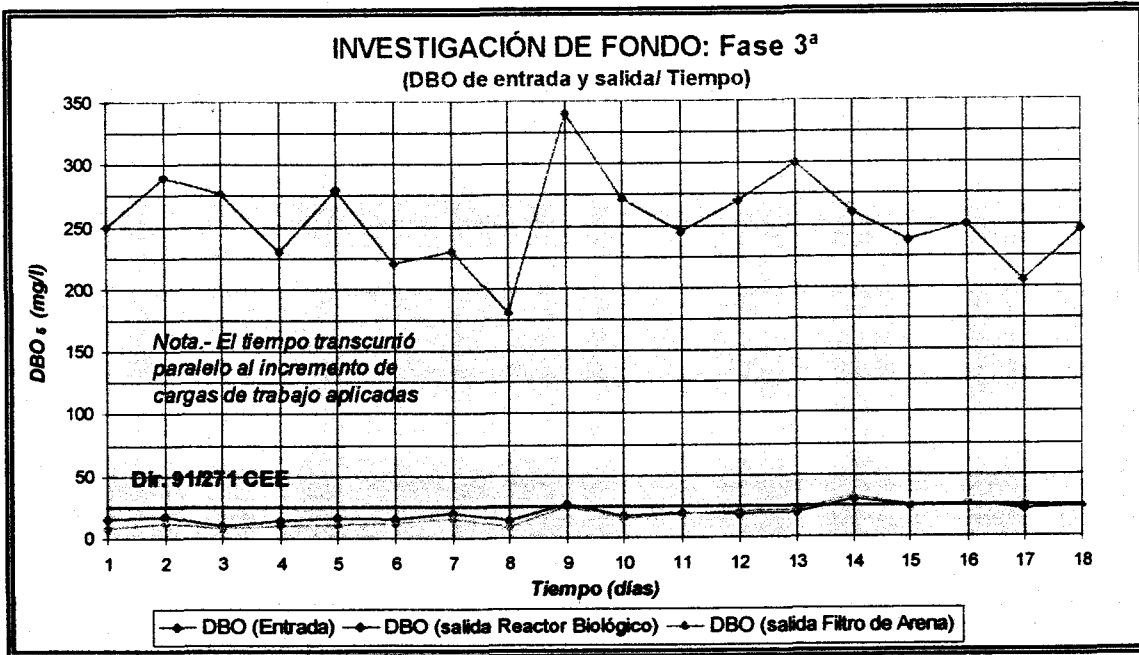


Gráfico 10.5

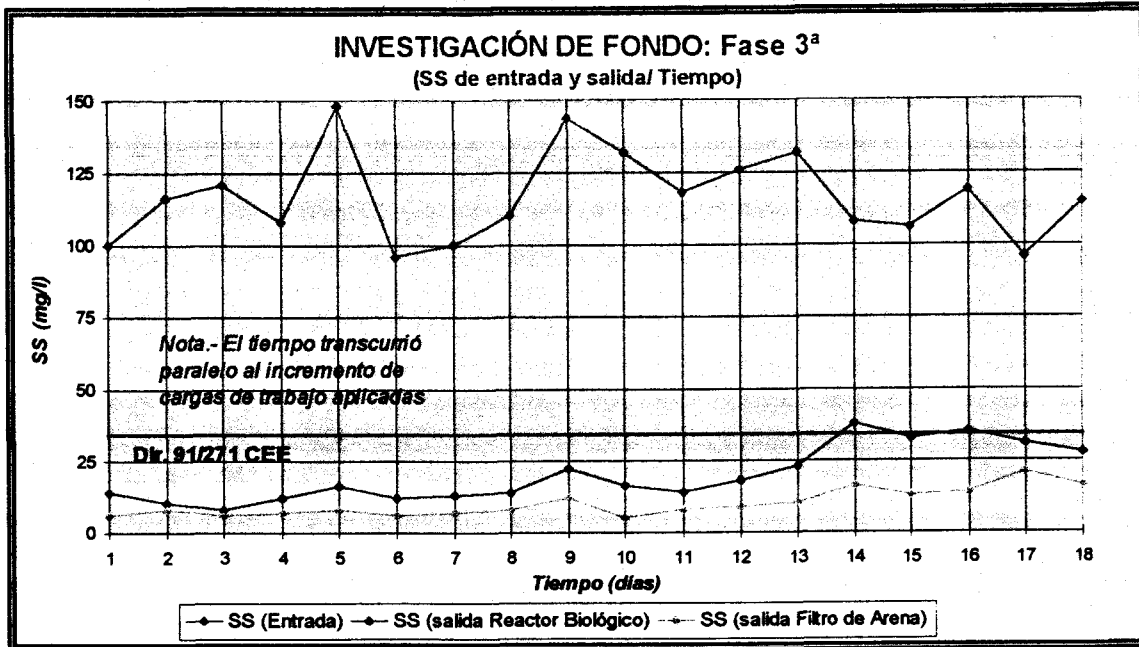


Gráfico 10.6

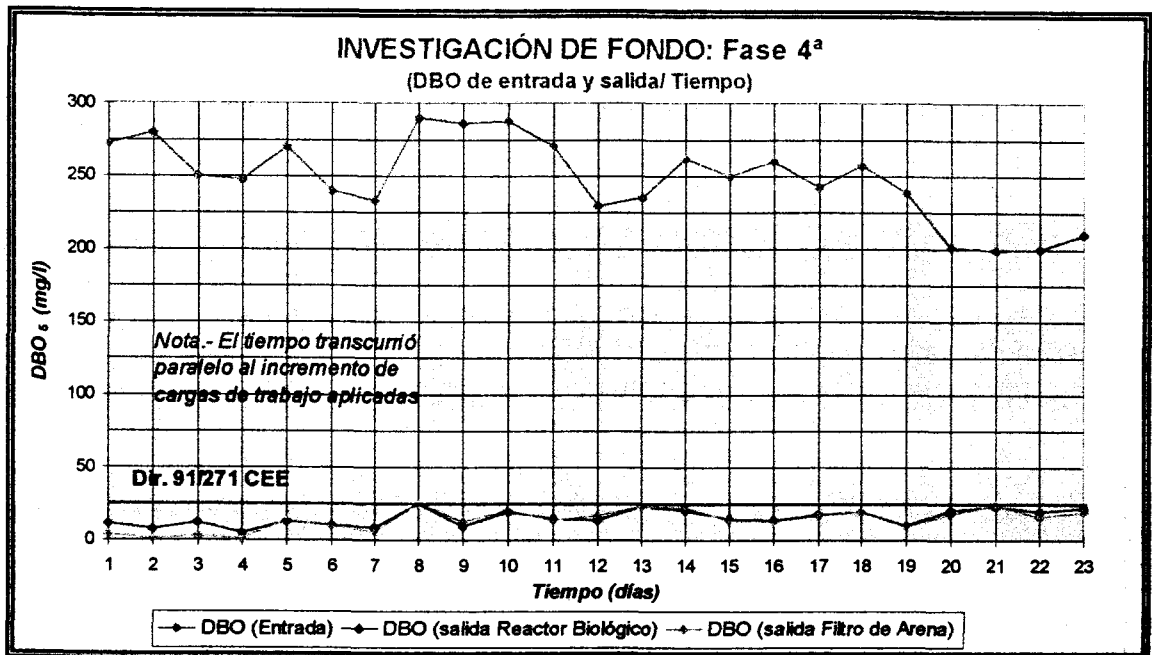


Gráfico 10.7

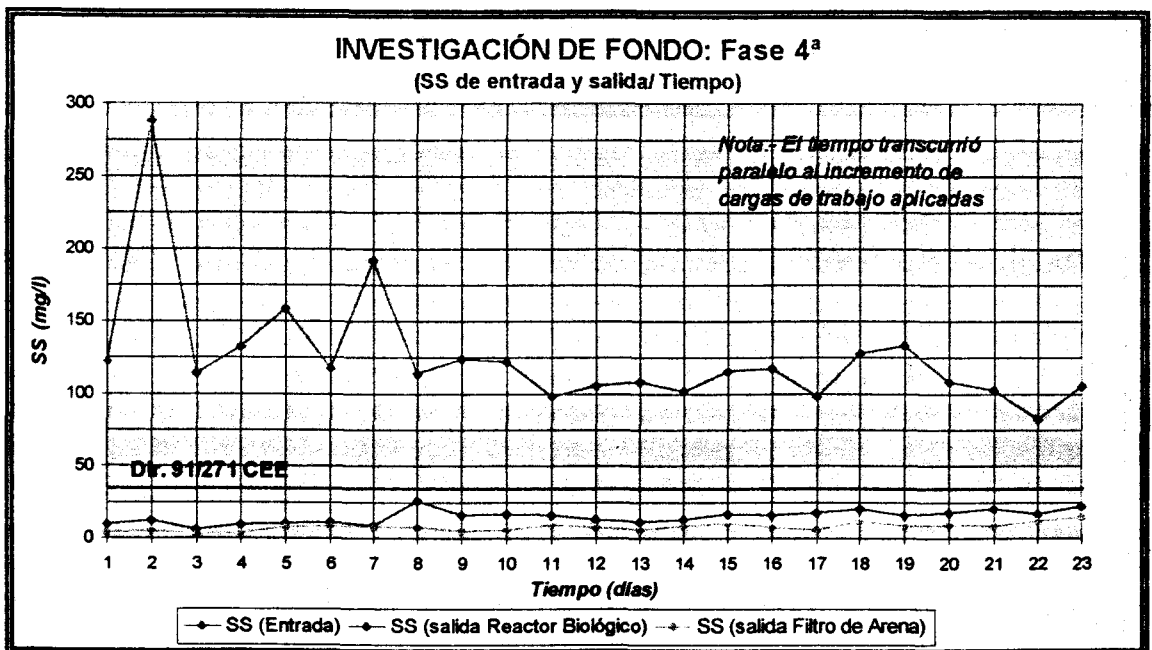


Gráfico 10.8

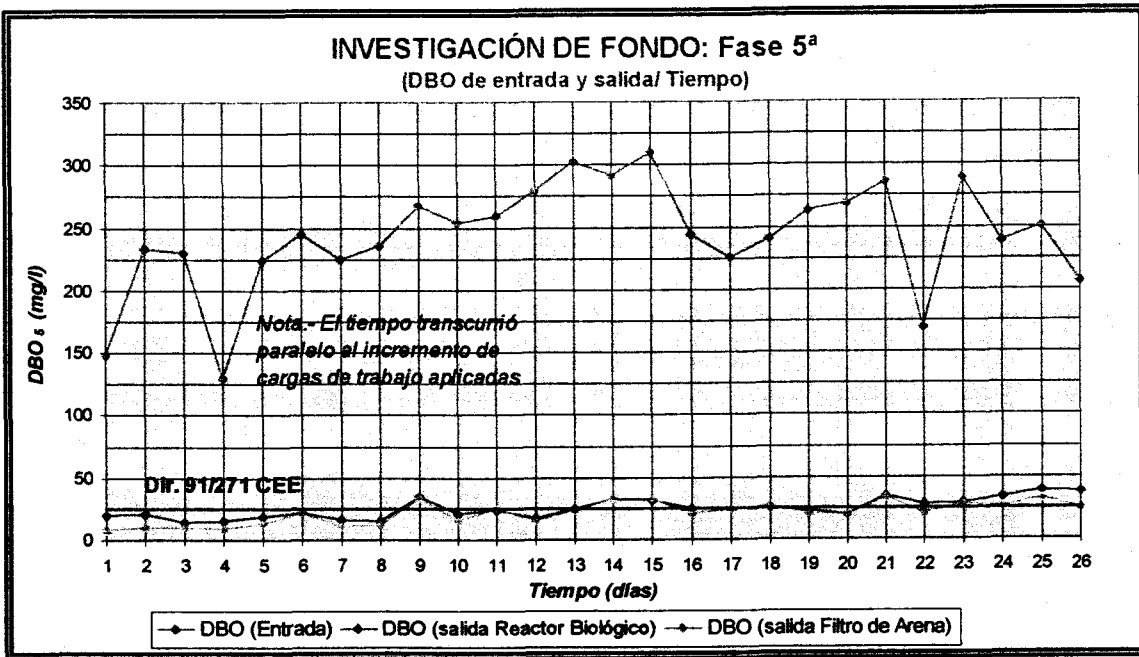


Gráfico 10.9

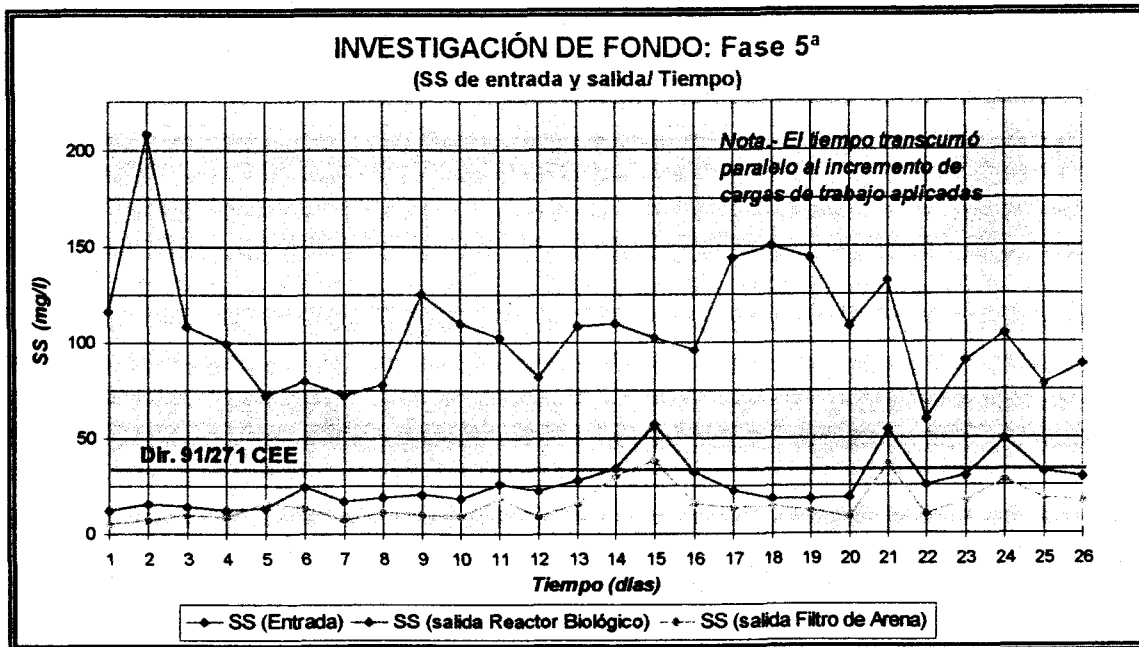


Gráfico 10.10

10.4.- ESTUDIO SISTEMÁTICO DE LA RELACIÓN ENTRE VARIABLES Y PARÁMETROS

10.4.1.- Cargas de trabajo aplicadas

A continuación, se insertan los siguientes cuadros, cuyos valores presentados se obtienen, básicamente, como producto de una variable (el caudal) y un parámetro (la concentración de un determinado contaminante en el agua):

Cuadro 10.42.- Fase n°1 (I. Fondo): Cargas de entrada al Reactor Biológico

Cuadro 10.43.- Fase n°1 (I. Fondo): Cargas de entrada al Filtro de Arena

Cuadro 10.44.- Fase n°2 (I. Fondo): Cargas de entrada al Reactor Biológico

Cuadro 10.45.- Fase n°2 (I. Fondo): Cargas de entrada al Filtro de Arena

Cuadro 10.46.- Fase n°3 (I. Fondo): Cargas de entrada al Reactor Biológico

Cuadro 10.47.- Fase n°3 (I. Fondo): Cargas de entrada al Filtro de Arena

Cuadro 10.48.- Fase n°4 (I. Fondo): Cargas de entrada al Reactor Biológico

Cuadro 10.49.- Fase n°4 (I. Fondo): Cargas de entrada al Filtro de Arena

Cuadro 10.50.- Fase n°5 (I. Fondo): Cargas de entrada al Reactor Biológico

Cuadro 10.51.- Fase n°5 (I. Fondo): Cargas de entrada al Filtro de Arena

Cuadro 10.42.- Fase n^o1 (I. Fondo): Cargas de entrada al Reactor Biológico

Día	C_n (m/h)	$C_{vol. DQO}$ (Kg. DQO/m²/d)	$C_{vol. DBO}$ (Kg. DBO/m²/d)	$C_{vol. SS}$ (Kg. SS/m²/d)	$C_{Sup. DBO}$ (Kg. DBO/m²/d)
1	0,30	2,42	1,20	0,66	1,80
2	0,30	2,19	1,09	0,60	1,64
3	0,30	2,03	1,01	0,59	1,51
4	0,30	2,43	1,21	0,76	1,81
5	0,45	2,72	1,35	0,80	2,03
6	0,45	2,96	1,48	0,80	2,21
7	0,45	2,45	1,21	0,68	1,82
8	0,45	2,78	1,39	0,85	2,08
9	0,68	5,56	2,77	1,46	4,15
10	0,68	3,86	1,86	1,10	2,80
11	0,68	4,84	2,62	1,20	3,92
12	0,68	1,77	1,04	0,70	1,55
13	0,83	5,00	2,24	1,64	3,36
14	0,83	5,40	2,65	1,79	3,98
15	0,83	5,30	2,64	1,55	3,96
16	1,06	8,89	4,43	2,24	6,64
17	1,06	10,21	5,09	2,76	7,63
18	1,06	6,19	3,09	2,05	4,63
19	1,06	3,12	2,71	1,29	4,07
20	1,29	11,63	5,79	3,01	8,68
21	1,29	12,35	6,16	3,05	9,23
22	1,29	10,99	5,58	2,61	8,37
23	1,29	10,75	5,35	2,43	8,03
24	1,97	13,48	6,71	3,34	10,06
25	1,97	9,32	4,72	3,40	7,09
26	2,57	15,28	7,70	3,87	11,55
27	2,57	13,59	6,75	3,71	10,13
28	3,18	20,40	10,17	7,02	15,26
29	3,18	19,94	9,61	5,70	14,42

Cuadro 10.43.- Fase n°1 (I. Fondo): Cargas de entrada al Filtro de Arena

Día	C_n (m/h)	$C_{vol. DQO}$ (Kg. DQO/m ² /d)	$C_{vol. DBO}$ (Kg. DBO/m ² /d)	$C_{vol. SS}$ (Kg. SS/m ² /d)	$C_{sup. DBO}$ (Kg. DBO/m ² /d)
1	0,30	0,28	0,03	0,08	0,09
2	0,30	0,37	0,05	0,10	0,13
3	0,30	0,45	0,03	0,12	0,15
4	0,30	0,30	0,06	0,08	0,10
5	0,45	0,49	0,03	0,12	0,15
6	0,45	0,65	0,07	0,17	0,22
7	0,45	0,58	0,03	0,16	0,20
8	0,45	1,33	0,10	0,33	0,41
9	0,68	1,69	0,33	0,43	0,54
10	0,68	1,27	0,13	0,33	0,41
11	0,68	1,02	0,11	0,28	0,21
12	0,68	1,87	0,33	0,48	0,36
13	0,83	1,06	0,16	0,29	0,36
14	0,83	1,20	0,19	0,27	0,34
15	0,83	5,08	0,53	1,31	1,64
16	1,06	2,12	0,35	0,57	0,71
17	1,06	2,30	0,33	0,61	0,76
18	1,06	2,22	0,37	0,57	0,71
19	1,06	2,14	0,78	0,54	0,41
20	1,29	4,20	0,57	1,11	1,39
21	1,29	3,26	0,35	0,89	1,11
22	1,29	3,16	0,44	0,79	0,99
23	1,29	3,34	0,37	0,91	1,14
24	1,97	5,25	0,94	1,40	1,75
25	1,97	3,33	0,68	0,83	1,04
26	2,57	7,66	1,24	2,12	2,66
27	2,57	6,52	1,04	1,83	2,29
28	3,18	14,22	2,93	3,85	4,81
29	3,18	13,31	2,38	3,60	4,50

Cuadro 10.44.- Fase n^o 2 (I. Fondo): Cargas de entrada al Reactor Biológico

<i>Día</i>	C_n (m/h)	$C_{vol. DQO}$ (Kg. DQO/m ³ /d)	$C_{vol. DBO}$ (Kg. DBO/m ³ /d)	$C_{vol. SS}$ (Kg. SS/m ³ /d)	$C_{Sup. DBO}$ (Kg. DBO/m ² /d)
1	0,30	2,35	1,22	0,52	1,82
2	0,30	1,52	0,76	0,47	1,13
3	0,30	1,68	0,83	0,45	1,25
4	0,30	1,86	0,93	0,50	1,40
5	0,61	3,49	1,73	0,86	2,60
6	0,61	3,73	1,76	1,11	2,65
7	0,61	3,21	1,59	0,88	2,38
8	0,61	3,63	1,72	1,34	2,57
9	0,83	3,30	1,64	1,33	2,46
10	0,83	4,26	2,12	1,16	3,18
11	0,83	7,70	3,82	1,47	5,74
12	0,83	3,42	1,71	1,33	2,56
13	0,83	5,92	2,94	1,68	4,42
14	0,83	5,62	2,80	1,37	4,20
15	1,03	10,21	5,07	2,50	7,61
16	1,03	11,66	5,80	3,66	8,70
17	1,03	9,75	4,86	2,06	7,29
18	1,03	5,11	2,50	1,61	3,76
19	1,29	5,11	2,53	2,06	3,80
20	1,29	10,93	5,44	2,51	8,15
21	1,29	11,12	5,54	2,80	8,31
22	1,29	11,26	5,60	2,39	8,40
23	1,82	13,05	6,60	3,49	9,90
24	1,82	11,71	5,81	3,08	8,72
25	1,82	11,71	5,81	3,08	8,72
26	1,82	9,13	4,53	2,67	6,80
27	1,82	15,75	7,85	2,85	11,77
28	2,50	19,30	9,59	4,32	14,39
29	2,50	18,75	8,51	5,28	12,77
30	3,26	22,81	11,72	5,73	17,58
31	3,26	21,09	10,47	4,69	15,70

Cuadro 10.45.- Fase n°2 (I. Fondo): Cargas de entrada al Filtro de Arena

<u>Día</u>	<u>C_n</u> (m/h)	<u>C_{vols. DQO}</u> (Kg. DQO/m ² /d)	<u>C_{vols. DBO}</u> (Kg. DBO/m ² /d)	<u>C_{vols. SS}</u> (Kg. SS/m ² /d)	<u>C_{Supr. DBO}</u> (Kg. DBO/m ² /d)
1	0,30	0,77	0,03	0,19	0,24
2	0,30	0,41	0,04	0,12	0,15
3	0,30	0,40	0,03	0,13	0,17
4	0,30	0,74	0,10	0,19	0,23
5	0,61	1,06	0,05	0,27	0,33
6	0,61	0,94	0,06	0,28	0,35
7	0,61	0,77	0,03	0,19	0,23
8	0,61	0,84	0,03	0,23	0,29
9	0,83	2,25	0,67	0,61	0,76
10	0,83	1,26	0,45	0,32	0,40
11	0,83	3,12	0,40	0,78	0,98
12	0,83	0,90	0,05	0,24	0,30
13	0,83	1,66	0,05	0,42	0,52
14	0,83	1,60	0,06	0,43	0,54
15	1,03	2,33	0,32	0,59	0,74
16	1,03	2,37	0,28	0,65	0,82
17	1,03	2,23	0,22	0,55	0,69
18	1,03	1,80	0,24	0,47	0,59
19	1,29	3,71	0,52	0,96	1,20
20	1,29	4,60	0,69	1,24	1,54
21	1,29	2,47	0,44	0,64	0,80
22	1,29	4,20	0,77	1,11	1,39
23	1,82	10,95	1,92	2,96	3,71
24	1,82	5,79	0,91	1,43	1,79
25	1,82	6,73	1,71	1,71	2,14
26	1,82	5,72	1,40	1,53	1,92
27	1,82	8,48	1,08	2,27	2,83
28	2,50	11,18	1,77	3,02	3,78
29	2,50	8,87	1,44	2,40	3,00

Cuadro 10.46.- Fase n°3 (I. Fondo): Cargas de entrada al Reactor Biológico

Día	C_n (m/h)	$C_{vols. DQO}$ (Kg. DQO/m ² /d)	$C_{vols. DBO}$ (Kg. DBO/m ² /d)	$C_{vols. SS}$ (Kg. SS/m ² /d)	$C_{Sup. DBO}$ (Kg. DBO/m ² /d)
1	0,38	3,65	1,75	0,70	2,27
2	0,38	3,38	2,03	0,81	2,63
3	0,38	3,84	1,94	0,85	2,52
4	0,38	3,21	1,61	0,75	2,09
5	0,76	7,73	3,91	2,07	5,09
6	0,76	5,88	3,07	1,34	4,00
7	0,76	5,45	3,21	1,40	4,18
8	0,76	6,44	2,52	1,54	3,27
9	0,91	9,73	5,70	2,41	7,41
10	0,91	9,41	4,56	2,21	5,93
11	0,91	8,03	4,11	1,98	5,34
12	0,91	9,21	4,53	2,11	5,89
13	1,06	11,17	5,87	2,58	7,63
14	1,06	11,70	5,09	2,11	6,61
15	1,06	9,94	4,66	2,07	6,05
16	1,06	10,31	4,91	2,33	6,38
17	1,51	11,77	5,73	2,68	7,45
18	1,51	13,78	6,88	3,21	8,94

Cuadro 10.47.- Fase n°3 (I. Fondo): Cargas de entrada al Filtro de Arena

Día	C_n (m/h)	$C_{vols. DQO}$ (Kg. DQO/m ² /d)	$C_{vols. DBO}$ (Kg. DBO/m ² /d)	$C_{vols. SS}$ (Kg. SS/m ² /d)	$C_{Sup. DBO}$ (Kg. DBO/m ² /d)
1	0,38	0,94	0,17	0,18	0,14
2	0,38	0,80	0,12	0,21	0,15
3	0,38	0,74	0,10	0,12	0,09
4	0,38	0,91	0,15	0,17	0,13
5	0,76	2,45	0,39	0,39	0,29
6	0,76	2,03	0,29	0,36	0,27
7	0,76	1,91	0,31	0,46	0,35
8	0,76	2,08	0,34	0,34	0,25
9	0,91	3,52	0,64	0,78	0,59

<i>Día</i>	C_n (m/h)	$C_{vol. DQO}$ (Kg. DQO/m ³ /d)	$C_{vol. DBO}$ (Kg. DBO/m ³ /d)	$C_{vol. SS}$ (Kg. SS/m ³ /d)	$C_{sup. DBO}$ (Kg. DBO/m ³ /d)
10	0,91	2,82	0,47	0,49	0,37
11	0,91	2,56	0,41	0,55	0,41
12	0,91	2,67	0,52	0,52	0,39
13	1,06	4,78	0,78	0,64	0,48
14	1,06	5,93	1,29	1,02	0,76
15	1,06	5,15	1,12	0,85	0,64
16	1,06	5,63	1,19	0,92	0,69
17	1,51	5,81	1,50	1,07	0,80
18	1,51	5,96	1,36	1,16	0,87

Cuadro 10.48.- Fase n⁴ (I. Fondo): Cargas de entrada al Reactor Biológico

<i>Día</i>	C_n (m/h)	$C_{vol. DQO}$ (Kg. DQO/m ³ /d)	$C_{vol. DBO}$ (Kg. DBO/m ³ /d)	$C_{vol. SS}$ (Kg. SS/m ³ /d)	$C_{sup. DBO}$ (Kg. DBO/m ³ /d)
1	0,38	3,92	1,90	0,85	2,47
2	0,38	3,74	1,96	2,01	2,54
3	0,38	3,91	1,75	0,80	2,27
4	0,53	4,88	2,42	1,29	3,14
5	0,53	5,88	2,64	1,55	3,43
6	0,53	5,09	2,35	1,15	3,05
7	0,76	6,44	3,26	2,68	4,23
8	0,76	8,11	4,05	1,59	5,27
9	0,76	7,92	4,00	1,73	5,20
10	0,76	8,20	4,02	1,70	5,23
11	0,76	7,29	3,77	1,37	4,91
12	0,76	6,79	3,21	1,48	4,18
13	0,76	7,23	3,28	1,51	4,27
14	1,06	10,39	5,13	2,00	6,66
15	1,06	10,78	4,89	2,27	6,36
16	1,06	10,78	5,09	2,31	6,61
17	1,06	7,40	4,75	1,92	6,18
18	1,06	9,94	5,03	2,50	6,54
19	1,06	9,45	4,68	2,60	6,08
20	1,51	10,82	5,62	3,02	7,30

<i>Día</i>	C_h (m/h)	$C_{vol. DQO}$ (Kg. DQO/m ² /d)	$C_{vol. DBO}$ (Kg. DBO/m ² /d)	$C_{vol. SS}$ (Kg. SS/m ² /d)	$C_{Sup. DBO}$ (Kg. DBO/m ² /d)
21	1,51	11,40	5,56	2,88	7,23
22	1,51	11,12	5,59	2,29	7,27
23	1,51	15,34	5,87	2,96	7,63

Cuadro 10.49.- Fase n°4 (I. Fondo): Cargas de entrada al Filtro de Arena

<i>Día</i>	C_h (m/h)	$C_{vol. DQO}$ (Kg. DQO/m ² /d)	$C_{vol. DBO}$ (Kg. DBO/m ² /d)	$C_{vol. SS}$ (Kg. SS/m ² /d)	$C_{Sup. DBO}$ (Kg. DBO/m ² /d)
1	0,38	0,52	0,11	0,13	0,10
2	0,38	0,42	0,15	0,08	0,06
3	0,38	0,73	0,07	0,15	0,11
4	0,53	0,46	0,15	0,08	0,06
5	0,53	1,09	0,17	0,22	0,17
6	0,53	0,83	0,19	0,17	0,13
7	0,76	0,78	0,19	0,19	0,15
8	0,76	3,34	0,63	0,61	0,45
9	0,76	1,72	0,39	0,22	0,16
10	0,76	2,59	0,41	0,46	0,35
11	0,76	1,84	0,39	0,36	0,27
12	0,76	1,77	0,31	0,34	0,25
13	0,76	2,98	0,27	0,56	0,42
14	1,06	3,29	0,44	0,68	0,51
15	1,06	2,31	0,58	0,51	0,38
16	1,06	2,24	0,54	0,47	0,36
17	1,06	2,92	0,61	0,61	0,46
18	1,06	2,98	0,68	0,64	0,48
19	1,06	1,90	0,54	0,34	0,25
20	1,51	4,02	0,87	0,97	0,73
21	1,51	4,75	0,97	1,11	0,84
22	1,51	3,73	0,82	0,92	0,69
23	1,51	4,60	1,07	1,07	0,80

Cuadro 10.50.- Fase n°5 (I. Fondo): Cargas de entrada al Reactor Biológico

Día	C_n (m/h)	$C_{vot. DQO}$ (Kg. DQO/m²/d)	$C_{vot. DBO}$ (Kg. DBO/m²/d)	$C_{vot. SS}$ (Kg. SS/m²/d)	$C_{Sup. DBO}$ (Kg. DBO/m²/d)
1	0,38	2,50	1,24	0,98	1,34
2	0,38	3,94	1,96	1,75	2,12
3	0,38	3,89	1,93	0,91	2,09
4	0,38	3,07	1,09	0,83	1,18
5	0,56	5,60	2,79	0,90	3,01
6	0,56	6,12	3,05	1,00	3,29
7	0,56	5,63	2,80	0,90	3,02
8	0,56	5,89	2,93	0,97	3,16
9	0,76	9,03	4,51	2,10	4,87
10	0,76	8,43	4,27	1,85	4,61
11	0,76	8,70	4,36	1,72	4,71
12	0,76	9,45	4,71	1,38	5,09
13	0,76	10,24	5,10	1,82	5,50
14	0,76	9,94	4,91	1,85	5,30
15	0,76	8,92	5,21	1,72	5,63
16	0,91	9,89	4,93	1,94	5,32
17	0,91	9,16	4,56	2,91	4,93
18	0,91	9,51	4,86	3,03	5,25
19	0,91	10,72	5,33	2,91	5,76
20	1,14	13,63	6,79	2,73	7,33
21	1,14	14,53	7,22	3,33	7,79
22	1,14	8,63	4,29	1,51	4,63
23	1,14	14,71	7,32	2,27	7,90
24	1,51	16,18	8,04	3,50	8,68
25	1,51	16,96	8,44	2,62	9,12
26	1,51	13,93	6,93	2,96	7,49

10.51.- Fase n°5 (I. Fondo): Cargas de entrada al Filtro de Arena

Día	C_n (m/h)	$C_{vol. DQO}$ (Kg. DQO/m²/d)	$C_{vol. DBO}$ (Kg. DBO/m²/d)	$C_{vol. SS}$ (Kg. SS/m²/d)	$C_{Sup. DBO}$ (Kg. DBO/m²/d)
1	0,38	0,76	0,15	0,23	0,17
2	0,38	1,17	0,18	0,24	0,18
3	0,38	0,91	0,17	0,17	0,13
4	0,38	0,93	0,15	0,18	0,14
5	0,56	1,11	0,23	0,32	0,24
6	0,56	1,70	0,43	0,39	0,30
7	0,56	1,67	0,30	0,29	0,22
8	0,56	1,47	0,34	0,27	0,20
9	0,76	4,31	0,48	0,85	0,64
10	0,76	2,64	0,44	0,48	0,36
11	0,76	2,74	0,63	0,58	0,44
12	0,76	2,30	0,53	0,41	0,31
13	0,76	3,34	0,68	0,61	0,45
14	0,76	4,24	0,82	0,78	0,58
15	0,76	3,68	1,38	0,75	0,56
16	0,91	4,07	0,93	0,73	0,55
17	0,91	3,81	0,64	0,70	0,52
18	0,91	3,49	0,52	0,76	0,57
19	0,91	3,28	0,52	0,67	0,50
20	1,14	3,38	0,69	0,69	0,52
21	1,14	5,56	1,96	1,27	0,95
22	1,14	3,67	0,91	1,02	0,76
23	1,14	4,98	1,09	1,05	0,79
24	1,51	6,93	2,37	1,60	1,20
25	1,51	8,14	1,55	1,89	1,42
26	1,51	7,61	1,40	1,84	1,38

10.4.2.- Caracterización estadística de los resultados

10.4.2.1.- Fase nº1: Relleno Cerámico (1,5 metros); Filtro de Arena (1,25 metros);

Caudal de aire = 0,2 Kg. O₂/hora (11,2 Nm³ / m² / h. de aire)

A continuación se insertan los cuadros de datos incluidos en la relación siguiente:

Cuadro 10.52.- Fase 1ª (I. Fondo): Caracterización del agua de entrada al Reactor Biológico (AB)

Cuadro 10.53.- Fase 1ª (I. Fondo): Caracterización de las Cargas de entrada al Reactor Biológico (AB)

Cuadro 10.54.- Fase 1ª (I. Fondo): Caracterización del agua tratada, a la salida del Reactor Biológico (AT1)

Cuadro 10.55.- Fase 1ª (I. Fondo): Caracterización de las Cargas de entrada al Filtro de Arena (AT1)

Cuadro 10.56.- Fase 1ª (I. Fondo): Caracterización del agua tratada, a la salida del Filtro de Arena (AT2)

Cuadro 10.57.- Fase 1ª (I. Fondo): Caracterización de los Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Reactor Biológico (AT1)

Cuadro 10.58.- Fase 1ª (I. Fondo): Caracterización de los Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Filtro de Arena (AT2)

Cuadro 10.59.- Fase 1ª (I. Fondo): Caracterización de los Rendimientos de eliminación (%), de la salida del Filtro de Arena respecto a la salida del Reactor Biológico (AT2/AT1)

Cuadro 10.60.- Fase 1ª (I. Fondo): Caracterización de Algunos parámetros referentes a la aireación en el Reactor Biológico

Nota.- La varianza que aparece en todas las tablas siguientes, se define como la media de los cuadrados de las desviaciones a la media, usándose para su cálculo, la fórmula que tiene por denominador el número de miembros de la muestra (n). En consecuencia, la desviación típica se calcula a partir de dicho concepto de la varianza.

Cuadro 10.52.- Fase 1ª (I. Fondo): Caracterización del agua de entrada al Reactor Biológico (AB)

Parámetro estadístico	Caudal de agua (l/h)	pH	DQO (mg/l)	DBO₅ (mg/l)	SS (mg/l)
Mínimo	20	7,1	162	95	64
Máximo	210	7,7	602	300	163
Rango o amplitud	190	0,6	440	205	99
Media aritmética	75,34	7,4	418	211	118
Desviación media	41,831	0,1874	80,0499	39,2414	17,1130
Varianza (*)	2967,1	0,0423	10801,6	2261,17	487,303
Desviación típica	54,471	0,2056	103,931	47,5518	22,0749
Coef. de variación	72,30	2,77	24,84	22,54	18,66

Cuadro 10.53.- Fase 1ª (I. Fondo): Caracterización de las Cargas de entrada al Reactor Biológico (AB)

Parámetro estadístico	Ch (m/h)	C.vol. DQO (Kg.DQO/m²/d)	C.vol. DBO₅ (Kg.DBO₅/m²/d)	C.vol. SS (Kg.SS/m²/d)	C.sup. DBO₅ (Kg.DBO₅/m²/d)
Mínimo	0,30	1,77	1,01	0,59	1,51
Máximo	3,18	20,40	10,17	7,02	15,26
Rango o amplitud	2,88	18,63	9,17	6,43	13,75
Media aritmética	1,14	7,51	3,78	2,13	5,67
Desviación media	0,6333	4,5991	2,2556	1,2157	3,3835
Varianza (*)	0,6801	28,4365	6,8265	2,3947	15,3597
Desviación típica	0,8247	5,3326	2,6128	1,5475	3,9191
Coef. de variación	72,30	70,99	69,13	72,81	69,13

Cuadro 10.54.- Fase 1ª (I. Fondo): Caracterización del agua tratada, a la salida del Reactor Biológico (AT1)

Parámetro estadístico	pH	DQO (mg/l)	DBO₅ (mg/l)	SS (mg/l)
Mínimo	7,2	47	13	3
Máximo	8,0	318	82	48
Rango o amplitud	0,8	271	69	45
Media aritmética	7,6	115	30	17
Desviación media	0,1838	45,7860	12,2949	7,9405
Varianza (*)	0,0471	3686,80	259,111	108,045
Desviación típica	0,2171	60,7191	16,0969	10,3945
Coef. de variación	2,86	52,91	53,11	62,02

Cuadro 10.55.- Fase 1ª (I. Fondo): Caracterización de las Cargas de entrada al Filtro de Arena (AT1)

Parámetro estadístico	Ch (m/h)	C.vol. DQO (Kg.DQO/m²/d)	C.vol. SS (Kg.SS/m²/d)	C.vol. DBO₅ (Kg.DBO₅/m²/d)	C.sup. DBO₅ (Kg.DBO₅/m²/d)
Mínimo	0,30	0,28	0,03	0,08	0,09
Máximo	3,18	14,22	2,93	3,85	4,81
Rango o amplitud	2,88	13,94	2,90	3,77	4,71
Media aritmética	1,14	3,13	0,51	0,83	1,02
Desviación media	0,6333	2,410	0,4448	0,6564	0,8358
Varianza (*)	0,6801	11,9012	0,4440	0,8824	1,4043
Desviación típica	0,8247	3,4498	0,6663	0,9394	1,1850
Coef. de variación	72,30	110,35	129,40	112,62	116,16

Cuadro 10.56.- Fase 1ª (I. Fondo): Caracterización del agua tratada, a la salida del Filtro de Arena (AT2)

Parámetro estadístico	pH	DQO (mg/l)	DBO₅ (mg/l)	SS (mg/l)
Mínimo	7,3	6	2	1
Máximo	8,2	198	55	31
Rango o amplitud	0,9	192	53	30
Media aritmética	7,7	73	20	8
Desviación media	0,2000	32,69	9,665	4,991
Varianza (*)	0,0586	1892	154,8	46,06
Desviación típica	0,2421	43,50	12,44	6,787
Coef. de variación	3,14	59,64	61,37	89,96

Cuadro 10.57.- Fase 1ª (I. Fondo): Caracterización de los Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Reactor Biológico (AT1)

Parámetro estadístico	DQO (%)	DBO₅ (%)	SS (%)
Mínimo	20,10	58,59	65,18
Máximo	90,18	94,76	97,27
Rango o amplitud	70,08	36,17	32,09
Media aritmética	71,03	85,02	85,25
Desviación media	12,20	6,326	7,877
Varianza (*)	258,0	70,75	88,75
Desviación típica	16,06	8,411	9,421
Coef. de variación	22,61	9,89	11,05

Cuadro 10.58.- Fase 1ª (I. Fondo): Caracterización de los Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Filtro de Arena (AT2)

Parámetro estadístico	DQO (%)	DBO₅ (%)	SS (%)
Mínimo	50,62	72,50	77,54
Máximo	98,80	99,20	99,41
Rango o amplitud	48,18	26,70	21,88
Media aritmética	81,64	90,00	93,54
Desviación media	8,259	4,620	4,120
Varianza (*)	120,7	39,79	30,77
Desviación típica	10,99	6,308	5,547
Coef. de variación	13,46	7,01	5,93

Cuadro 10.59.- Fase 1ª (I. Fondo): Caracterización de los Rendimientos de eliminación (%), de la salida del Filtro de Arena respecto a la salida del Reactor Biológico (AT2/AT1)

Parámetro estadístico	DQO (%)	DBO₅ (%)	SS (%)
Mínimo	3,54	3,33	10,00
Máximo	88,46	85,71	90,91
Rango o amplitud	84,92	82,38	80,91
Media aritmética	37,03	34,15	57,08
Desviación media	18,60	19,48	17,17
Varianza (*)	552,5	561,3	410,9
Desviación típica	23,51	23,69	20,27
Coef. de variación	63,47	69,38	35,51

Cuadro 10.60.- Fase 1ª (I. Fondo): Caracterización de algunos parámetros referentes a la aireación en el Reactor Biológico

Parámetro estadístico	Kg. O₂ / l. agua bruta	Kg. O₂ / Kg. DBO_{5,elim.} (R.B.)
Mínimo	0,0009	0,56
Máximo	0,0100	4,87
Rango o amplitud	0,0091	4,31
Media aritmética	0,0040	1,96
Desviación media	0,0022	1,1242
Varianza (*)	0,000008	1,6367
Desviación típica	0,0028	1,2793
Coef. de variación	69,69	65,32

10.4.2.2.- Fase nº2: Relleno Cerámico (1,5 metros); Filtro de Arena (1,25 metros):

Caudal de aire = 0.7 Kg. O₂/hora (38.75 Nm³ / m² / h. de aire)

A continuación se insertan los cuadros de datos incluidos en la relación siguiente:

Cuadro 10.61.- Fase 2ª (I. Fondo): Caracterización del agua de entrada al Reactor Biológico (AB)

Cuadro 10.62.- Fase 2ª (I. Fondo): Caracterización de las Cargas de entrada al Reactor Biológico (AB)

Cuadro 10.63.- Fase 2ª (I. Fondo): Caracterización del agua tratada, a la salida del Reactor Biológico (AT1)

Cuadro 10.64.- Fase 2ª (I. Fondo): Caracterización de las Cargas de entrada al Filtro de Arena (AT1)

Cuadro 10.65.- Fase 2ª (I. Fondo): Caracterización del agua tratada, a la salida del Filtro de Arena

(AT2)

Cuadro 10.66.- Fase 2ª (I. Fondo): Caracterización de los Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Reactor Biológico (AT1)

Cuadro 10.67.- Fase 2ª (I. Fondo): Caracterización de los Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Filtro de Arena (AT2)

Cuadro 10.68.- Fase 2ª (I. Fondo): Caracterización de los Rendimientos de eliminación (%), de la salida del Filtro de Arena respecto a la salida del Reactor Biológico (AT2/AT1)

Cuadro 10.69.- Fase 2ª (I. Fondo): Caracterización de Algunos parámetros referentes a la aireación en el Reactor Biológico

Nota.- La varianza que aparece en todas las tablas siguientes, se define como la media de los cuadrados de las desviaciones a la media, usándose para su cálculo, la fórmula que tiene por denominador el número de miembros de la muestra (n). En consecuencia, la desviación típica se calcula a partir de dicho concepto de la varianza.

Cuadro 10.61.- Fase 2ª (I. Fondo): Caracterización del agua de entrada al Reactor Biológico (AB)

Parámetro estadístico	Caudal de agua (l/h)	pH	DQO (mg/l)	DBO₅ (mg/l)	SS (mg/l)
Mínimo	20	7,0	248	123	87
Máximo	215	7,9	708	352	222
Rango o amplitud	195	0,9	460	229	135
Media aritmética	82	7,5	427	212	113
Desviación media	40,903	0,2139	93,0114	46,9553	17,0676
Varianza (*)	2709,7	0,0645	12854,8	3243,14	646,993
Desviación típica	52,055	0,2539	113,379	56,9486	25,4361
Coef. de variación	63,48	3,38	26,52	26,88	22,57

Cuadro 10.62.- Fase 2ª (I. Fondo): Caracterización de las Cargas de entrada al Reactor Biológico (AB)

Parámetro estadístico	Ch (m/h)	C.vol. DQO (Kg.DQO/m²/d)	C.vol. DBO₅ (Kg.DBO₅/m²/d)	C.vol. SS (Kg.SS/m²/d)	C.sup. DBO₅ (Kg.DBO₅/m²/d)
Mínimo	0,30	1,52	0,76	0,45	1,13
Máximo	3,26	22,81	11,72	5,73	17,58
Rango o amplitud	2,95	21,29	10,96	5,28	16,44
Media aritmética	1,24	8,72	4,32	2,23	6,47
Desviación media	0,6193	5,0020	2,4813	1,1463	3,7220
Varianza (*)	0,6211	35,4536	8,7338	1,9609	19,6511
Desviación típica	0,7881	5,9543	2,9553	1,4003	4,4330
Coef. de variación	63,48	68,32	68,47	62,68	68,47

Cuadro 10.63.- Fase 2ª (I. Fondo): Caracterización del agua tratada, a la salida del Reactor Biológico (AT1)

Parámetro estadístico	pH	DQO (mg/l)	DBO₅ (mg/l)	SS (mg/l)
Mínimo	7,3	56	15	3
Máximo	8,1	314	85	56
Rango o amplitud	0,8	258	70	53
Media aritmética	7,7	144	38	22
Desviación media	0,1935	55,8751	14,8429	14,0749
Varianza (*)	0,0542	4605,7	331,53	267,336
Desviación típica	0,2328	67,865	18,2080	16,3504
Coef. de variación	3,02	47,06	47,63	75,09

Cuadro 10.64.- Fase 2ª (I. Fondo): Caracterización de las Cargas de entrada al Filtro de Arena (AT1)

Parámetro estadístico	Ch (m/h)	C.vol. DQO (Kg.DQO/m²/d)	C.vol. SS (Kg.SS/m²/d)	C.vol. DBO₅ (Kg.DBO₅/m²/d)	C.sup. DBO₅ (Kg.DBO₅/m²/d)
Mínimo	0,30	0,40	0,03	0,12	0,15
Máximo	3,26	11,18	1,92	3,02	3,78
Rango o amplitud	2,95	10,78	1,89	2,91	3,63
Media aritmética	1,24	3,38	0,54	0,89	1,12
Desviación media	0,6193	2,5090	0,4774	0,6683	0,8354
Varianza (*)	0,6211	9,6570	0,340	0,6959	1,0873
Desviación típica	0,7881	3,1076	0,5831	0,8342	1,0428
Coef. de variación	63,48	91,83	107,36	93,25	93,25

Cuadro 10.65.- Fase 2ª (I. Fondo): Caracterización del agua tratada, a la salida del Filtro de Arena (AT2)

Parámetro estadístico	pH	DQO (mg/l)	DBO₅ (mg/l)	SS (mg/l)
Mínimo	7,2	22	6	0
Máximo	8,1	177	50	22
Rango o amplitud	0,9	155	44	22
Media aritmética	7,7	83	23	7
Desviación media	0,2342	31,90	9,089	5,580
Varianza (*)	0,0762	1503	120,0	40,88
Desviación típica	0,2761	38,77	10,95	6,394
Coef. de variación	3,57	46,70	47,91	87,09

Cuadro 10.66.- Fase 2ª (I. Fondo): Caracterización de los Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Reactor Biológico (AT1)

Parámetro estadístico	DQO (%)	DBO₅ (%)	SS (%)
Mínimo	30,07	62,56	49,09
Máximo	83,05	90,63	97,83
Rango o amplitud	52,98	28,07	48,74
Media aritmética	65,36	81,47	79,79
Desviación media	13,47	7,256	13,81
Varianza (*)	251,3	71,54	253,8
Desviación típica	15,85	8,458	15,93
Coef. de variación	24,25	10,38	19,97

Cuadro 10.67.- Fase 2ª (I. Fondo): Caracterización de los Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Filtro de Arena (AT2)

Parámetro estadístico	DQO (%)	DBO₅ (%)	SS (%)
Mínimo	51,61	73,17	79,63
Máximo	93,64	96,51	99,64
Rango o amplitud	42,03	23,34	20,01
Media aritmética	79,77	88,74	93,29
Desviación media	8,080	4,633	5,230
Varianza (*)	105,8	34,04	34,82
Desviación típica	10,29	5,834	5,901
Coef. de variación	12,89	6,57	6,33

Cuadro 10.68.- Fase 2ª (I. Fondo): Caracterización de los Rendimientos de eliminación (%), de la salida del Filtro de Arena respecto a la salida del Reactor Biológico (AT2/AT1)

Parámetro estadístico	DQO (%)	DBO₅ (%)	SS (%)
Mínimo	7,14	6,25	0,00
Máximo	70,33	73,91	98,40
Rango o amplitud	63,19	67,66	98,40
Media aritmética	37,85	35,35	61,44
Desviación media	13,25	14,69	13,71
Varianza (*)	257,9	321,6	342,9
Desviación típica	16,06	17,93	18,52
Coef. de variación	42,43	50,73	30,14

Cuadro 10.69.- Fase 2ª (I. Fondo): Caracterización de algunos parámetros referentes a la aireación en el Reactor Biológico

Parámetro estadístico	Kg. O₂ / l. agua bruta	Kg. O₂ / Kg. DBO_{5, 20°C} (R.B.)
Mínimo	0,0030	1,80
Máximo	0,0350	20,59
Rango o amplitud	0,0320	18,79
Media aritmética	0,0128	6,59
Desviación media	0,0068	4,0625
Varianza (*)	0,0001	25,9026
Desviación típica	0,0094	5,0895
Coef. de variación	73,70	77,19

10.4.2.3.- Fase nº3: Relleno Doble Capa (Flujo contra-corriente); Filtro de Arena (0.75 metros); Caudal de aire = 0.13 Kg. O₂/hora (7.26 Nm³ / m² / h. de aire)

A continuación se insertan los cuadros de datos incluidos en la relación siguiente:

Cuadro 10.70.- Fase 3ª (I. Fondo): Caracterización del agua de entrada al Reactor Biológico (AB)

Cuadro 10.71.- Fase 3ª (I. Fondo): Caracterización de las Cargas de entrada al Reactor Biológico (AB)

Cuadro 10.72.- Fase 3ª (I. Fondo): Caracterización del agua tratada, a la salida del Reactor Biológico (AT1)

Cuadro 10.73.- Fase 3ª (I. Fondo): Caracterización de las Cargas de entrada al Filtro de Arena (AT1)

Cuadro 10.74.- Fase 3ª (I. Fondo): Caracterización del agua tratada, a la salida del Filtro de Arena (AT2)

Cuadro 10.75.- Fase 3ª (I. Fondo): Caracterización de los Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Reactor Biológico (AT1)

Cuadro 10.76.- Fase 3ª (I. Fondo): Caracterización de los Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Filtro de Arena (AT2)

Cuadro 10.77.- Fase 3ª (I. Fondo): Caracterización de los Rendimientos de eliminación (%), de la salida del Filtro de Arena respecto a la salida del Reactor Biológico (AT2/AT1)

Cuadro 10.78.- Fase 3ª (I. Fondo): Caracterización de Algunos parámetros referentes a la aireación en el Reactor Biológico

Nota.- La varianza que aparece en todas las tablas siguientes, se define como la media de los cuadrados de las desviaciones a la media, usándose para su cálculo, la fórmula que tiene por denominador el número de miembros de la muestra (n). En consecuencia, la desviación típica se calcula a partir de dicho concepto de la varianza.

Cuadro 10.70.- Fase 3ª (I. Fondo): Caracterización del agua de entrada al Reactor Biológico (AB)

Parámetro estadístico	Caudal de agua (l/h)	pH	DQO (mg/l)	DBO₅ (mg/l)	SS (mg/l)
Mínimo	25	7,4	390	180	96
Máximo	100	8,2	598	340	148
Rango o amplitud	75	0,8	208	160	52
Media aritmética	56,67	7,7	507	255	116
Desviación media	17,037	0,1506	49,7778	27,9630	12,0988
Varianza (*)	483,33	0,0427	3405,67	1290,67	224,015
Desviación típica	21,985	0,2068	58,3581	35,9258	14,9671
Coef. de variación	38,80	2,69	11,51	14,11	12,86

Cuadro 10.71.- Fase 3ª (I. Fondo): Caracterización de las Cargas de entrada al Reactor Biológico (AB)

Parámetro estadístico	Ch (m/h)	C.vol. DQO (Kg.DQO/m²/h)	C.vol. DBO₅ (Kg.DBO₅/m²/h)	C.vol. SS (Kg.SS/m²/h)	C.sup. DBO₅ (Kg.DBO₅/m²/h)
Mínimo	0,38	3,21	1,61	0,70	2,09
Máximo	1,51	13,78	6,88	3,21	8,94
Rango o amplitud	1,14	10,57	5,27	2,52	6,85
Media aritmética	0,86	8,03	4,00	1,84	5,20
Desviación media	0,2579	2,7444	1,3327	0,6126	1,7325
Varianza (*)	0,1108	10,0499	2,4081	0,5111	4,0696
Desviación típica	0,3328	3,1702	1,5518	0,7149	2,0173
Coef. de variación	38,80	39,46	38,76	38,80	38,76

Cuadro 10.72.- Fase 3ª (I. Fondo): Caracterización del agua tratada, a la salida del Reactor Biológico (AT1)

Parámetro estadístico	pH	DQO (mg/l)	DBO₅ (mg/l)	SS (mg/l)
Mínimo	7,0	61	10	8
Máximo	8,3	175	30	38
Rango o amplitud	1,3	114	20	30
Media aritmética	7,7	106	19	20
Desviación media	0,2333	28,5741	4,3333	7,9074
Varianza (*)	0,0933	1112,25	27,6667	82,250
Desviación típica	0,3055	33,3504	5,2599	9,0692
Coef. de variación	3,97	31,51	27,21	45,73

Cuadro 10.73.- Fase 3ª (I. Fondo): Caracterización de las Cargas de entrada al Filtro de Arena (AT1)

Parámetro estadístico	Ch (m/h)	C.vol. DQO (Kg.DQO/m²/d)	C.vol. SS (Kg.SS/m²/d)	C.vol. DBO₅ (Kg.DBO₅/m²/d)	C.sup. DBO₅ (Kg.DBO₅/m²/d)
Mínimo	0,38	0,74	0,10	0,12	0,09
Máximo	1,51	5,96	1,50	1,16	0,87
Rango o amplitud	1,14	5,22	1,40	1,04	0,78
Media aritmética	0,86	3,15	0,62	0,57	0,43
Desviación media	0,2579	1,6373	0,3937	0,2731	0,2048
Varianza (*)	0,1108	3,4457	0,2071	0,1022	0,0575
Desviación típica	0,3328	1,8563	0,4551	0,3198	0,2398
Coef. de variación	38,80	58,92	73,58	56,23	56,23

Cuadro 10.74.- Fase 3ª (I. Fondo): Caracterización del agua tratada, a la salida del Filtro de Arena (AT2)

Parámetro estadístico	pH	DQO (mg/l)	DBO₅ (mg/l)	SS (mg/l)
Mínimo	7,2	28	8	5
Máximo	8,1	116	32	21
Rango o amplitud	0,9	88	24	16
Media aritmética	7,6	64	18	10
Desviación media	0,1815	23,96	6,722	3,556
Varianza (*)	0,0521	715,0	55,47	18,33
Desviación típica	0,2283	26,74	7,448	4,282
Coef. de variación	3,00	42,0	41,76	42,82

Cuadro 10.75.- Fase 3ª (I. Fondo): Caracterización de los Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Reactor Biológico (AT1)

Parámetro estadístico	DQO (%)	DBO₅ (%)	SS (%)
Mínimo	68,50	88,46	64,81
Máximo	88,89	96,39	93,39
Rango o amplitud	20,39	7,93	28,57
Media aritmética	79,15	92,31	82,63
Desviación media	4,862	1,760	7,284
Varianza (*)	33,72	4,505	74,73
Desviación típica	5,807	2,123	8,645
Coef. de variación	7,34	2,30	10,46

Cuadro 10.76.- Fase 3ª (I. Fondo): Caracterización de los Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Filtro de Arena (AT2)

Parámetro estadístico	DQO (%)	DBO₅ (%)	SS (%)
Mínimo	76,72	87,32	78,13
Máximo	94,35	97,11	96,21
Rango o amplitud	17,63	9,79	18,09
Media aritmética	87,43	92,93	91,19
Desviación media	4,299	2,514	3,400
Varianza (*)	26,17	9,071	19,05
Desviación típica	5,116	3,012	4,365
Coef. de variación	5,85	3,24	4,79

Cuadro 10.77.- Fase 3ª (I. Fondo): Caracterización de los Rendimientos de eliminación (%), de la salida del Filtro de Arena respecto a la salida del Reactor Biológico (AT2/AT1)

Parámetro estadístico	DQO (%)	DBO₅ (%)	SS (%)
Mínimo	18,33	-18,2	20,0
Máximo	57,69	46,67	68,75
Rango o amplitud	39,36	64,85	48,75
Media aritmética	41,39	10,88	47,22
Desviación media	10,18	16,28	9,545
Varianza (*)	142,0	353,5	148,8
Desviación típica	11,92	18,80	12,20
Coef. de variación	28,79	172,9	25,83

Cuadro 10.78.- Fase 3ª (I. Fondo): Caracterización de algunos parámetros referentes a la aireación en el Reactor Biológico

Parámetro estadístico	Kg. O₂ / l. agua bruta	Kg. O₂ / Kg. DBO_{5,elim} (R.B.)
Mínimo	0,0013	0,47
Máximo	0,0050	1,93
Rango o amplitud	0,0037	1,46
Media aritmética	0,0031	0,95
Desviación media	0,0013	0,3766
Varianza (*)	0,0000	0,1985
Desviación típica	0,0014	0,4456
Coef. de variación	46,52	46,96

10.4.2.4.- Fase nº4: Relleno Doble Capa (Flujo contra-corriente): Filtro de Arena (0,75 metros): Caudal de aire = 0.2 Kg. O₂/hora (11,2 Nm³ / m² / h. de aire)

A continuación se insertan los cuadros de datos incluidos en la relación siguiente:

Cuadro 10.79.- Fase 4ª (I. Fondo): Caracterización del agua de entrada al Reactor Biológico (AB)

Cuadro 10.80.- Fase 4ª (I. Fondo): Caracterización de las Cargas de entrada al Reactor Biológico (AB)

Cuadro 10.81.- Fase 4ª (I. Fondo): Caracterización del agua tratada, a la salida del Reactor Biológico (AT1)

Cuadro 10.82.- Fase 4ª (I. Fondo): Caracterización de las Cargas de entrada al Filtro de Arena (AT1)

Cuadro 10.83.- Fase 4ª (I. Fondo): Caracterización del agua tratada, a la salida del Filtro de Arena (AT2)

Cuadro 10.84.- Fase 4ª (I. Fondo): Caracterización de los Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Reactor Biológico (AT1)

Cuadro 10.85.- Fase 4ª (I. Fondo): Caracterización de los Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Filtro de Arena (AT2)

Cuadro 10.86.- Fase 4ª (I. Fondo): Caracterización de los Rendimientos de eliminación (%), de la salida del Filtro de Arena respecto a la salida del Reactor Biológico (AT2/AT1)

Cuadro 10.87.- Fase 4ª (I. Fondo): Caracterización de Algunos parámetros referentes a la aireación en el Reactor Biológico

Nota.- La varianza que aparece en todas las tablas siguientes, se define como la media de los cuadrados de las desviaciones a la media, usándose para su cálculo, la fórmula que tiene por denominador el número de miembros de la muestra (n). En consecuencia, la desviación típica se calcula a partir de dicho concepto de la varianza.

Cuadro 10.79.- Fase 4ª (I. Fondo): Caracterización del agua de entrada al Reactor Biológico (AB)

Parámetro estadístico	Caudal de agua (l/h)	pH	DQO (mg/l)	DBO₅ (mg/l)	SS (mg/l)
Mínimo	25	7,0	378	199	82
Máximo	100	7,9	601	290	288
Rango o amplitud	75	0,9	223	91	206
Media aritmética	58,70	7,4	510	248	126
Desviación media	20,265	0,2643	50,9490	22,1588	24,0945
Varianza (*)	574,39	0,0921	4044,77	741,270	1666,05
Desviación típica	23,966	0,3035	63,5985	27,2263	40,8173
Coef. de variación	40,83	4,11	12,46	10,96	32,48

Cuadro 10.80.- Fase 4ª (I. Fondo): Caracterización de las Cargas de entrada al Reactor Biológico (AB)

Parámetro estadístico	Ch (m/h)	C.vol. DQO (Kg.DQO/m²/d)	C.vol. DBO₅ (Kg.DBO₅/m²/d)	C.vol. SS (Kg.SS/m²/d)	C.sup. DBO₅ (Kg.DBO₅/m²/d)
Mínimo	0,38	3,74	1,75	0,80	2,27
Máximo	1,51	15,34	5,87	3,02	7,63
Rango o amplitud	1,14	11,61	4,12	2,22	5,36
Media aritmética	0,89	8,12	3,95	1,93	5,13
Desviación media	0,3068	2,3479	1,1258	0,5440	1,4636
Varianza (*)	0,1317	8,2404	1,6882	0,4087	2,8531
Desviación típica	0,3628	2,8706	1,2993	0,6393	1,6891
Coef. de variación	40,83	35,34	32,91	33,06	32,91

Cuadro 10.81.- Fase 4ª (I. Fondo): Caracterización del agua tratada, a la salida del Reactor Biológico (AT1)

Parámetro estadístico	pH	DQO (mg/l)	DBO₅ (mg/l)	SS (mg/l)
Mínimo	7,2	27	5	6
Máximo	8,1	138	25	26
Rango o amplitud	0,9	111	20	20
Media aritmética	7,7	74	15	15
Desviación media	0,2060	21,6711	4,8166	4,0227
Varianza (*)	0,0563	755,289	30,9754	23,0132
Desviación típica	0,2373	27,4825	5,5656	4,7972
Coef. de variación	3,10	36,92	36,47	32,36

Cuadro 10.82.- Fase 4ª (I. Fondo): Caracterización de las Cargas de entrada al Filtro de Arena (AT1)

Parámetro estadístico	Ch (m/h)	C.vol. DQO (Kg.DQO/m²/d)	C.vol. SS (Kg.SS/m²/d)	C.vol. DBO₅ (Kg.DBO₅/m²/d)	C.sup. DBO₅ (Kg.DBO₅/m²/d)
Mínimo	0,38	0,42	0,07	0,08	0,06
Máximo	1,51	4,75	1,07	1,11	0,84
Rango o amplitud	1,14	4,32	0,99	1,03	0,77
Media aritmética	0,89	2,25	0,46	0,47	0,36
Desviación media	0,3068	1,1077	0,2369	0,2553	0,1914
Varianza (*)	0,1317	1,7051	0,0792	0,0955	0,0537
Desviación típica	0,3628	1,3058	0,2815	0,3090	0,2318
Coef. de variación	40,83	57,98	61,38	65,20	65,20

Cuadro 10.83.- Fase 4ª (I. Fondo): Caracterización del agua tratada, a la salida del Filtro de Arena (AT2)

Parámetro estadístico	pH	DQO (mg/l)	DBO₅ (mg/l)	SS (mg/l)
Mínimo	7,0	2	1	3
Máximo	8,3	91	25	15
Rango o amplitud	1,3	89	24	12
Media aritmética	7,4	50	14	8
Desviación media	0,2783	21,06	5,792	2,068
Varianza (*)	0,1243	658,9	50,65	7,554
Desviación típica	0,3526	25,67	7,117	2,748
Coef. de variación	4,77	51,11	50,99	36,54

Cuadro 10.84.- Fase 4ª (I. Fondo): Caracterización de los Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Reactor Biológico (AT1)

Parámetro estadístico	DQO (%)	DBO₅ (%)	SS (%)
Mínimo	75,98	88,44	77,19
Máximo	94,59	97,98	95,83
Rango o amplitud	18,61	9,53	18,64
Media aritmética	85,15	93,69	87,11
Desviación media	5,035	2,248	4,443
Varianza (*)	33,59	7,020	29,32
Desviación típica	5,796	2,650	5,415
Coef. de variación	6,81	2,83	6,22

Cuadro 10.85.- Fase 4ª (I. Fondo): Caracterización de los Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Filtro de Arena (AT2)

Parámetro estadístico	DQO (%)	DBO₅ (%)	SS (%)
Mínimo	81,62	87,94	85,37
Máximo	99,60	99,64	98,26
Rango o amplitud	17,98	11,70	12,90
Media aritmética	89,91	94,23	93,45
Desviación media	4,675	2,623	2,412
Varianza (*)	28,64	9,709	10,19
Desviación típica	5,352	3,116	3,192
Coef. de variación	5,95	3,31	3,42

Cuadro 10.86.- Fase 4ª (I. Fondo): Caracterización de los Rendimientos de eliminación (%), de la salida del Filtro de Arena respecto a la salida del Reactor Biológico (AT2/AT1)

Parámetro estadístico	DQO (%)	DBO₅ (%)	SS (%)
Mínimo	12,63	-44,4	12,50
Máximo	92,59	85,71	73,08
Rango o amplitud	79,96	130,2	60,58
Media aritmética	37,25	13,98	47,60
Desviación media	15,72	22,72	11,97
Varianza (*)	489,2	1004	216,5
Desviación típica	22,12	31,69	14,71
Coef. de variación	59,37	226,6	30,91

Cuadro 10.87.- Fase 4ª (I. Fondo): Caracterización de algunos parámetros referentes a la aireación en el Reactor Biológico

Parámetro estadístico	Kg. O₂ / l. agua bruta	Kg. O₂ / Kg. DBO_{5,effm} (R.B.)
Mínimo	0,0020	0,85
Máximo	0,0080	2,69
Rango o amplitud	0,0060	1,84
Media aritmética	0,0042	1,38
Desviación media	0,0015	0,4475
Varianza (*)	0,0000	0,2934
Desviación típica	0,0019	0,5417
Coef. de variación	45,05	39,29

10.4.2.5.- Fase nº5: Relleno Doble Capa (Flujo co-corriente): Filtro de Arena (0.75 metros): Caudal de aire = 0.13 Kg. O₂/hora (7.26 Nm³ / m² / h. de aire)

A continuación se insertan los cuadros de datos incluidos en la relación siguiente:

Cuadro 10.88.- Fase 5ª (I. Fondo): Caracterización del agua de entrada al Reactor Biológico (AB)

Cuadro 10.89.- Fase 5ª (I. Fondo): Caracterización de las Cargas de entrada al Reactor Biológico (AB)

Cuadro 10.90.- Fase 5ª (I. Fondo): Caracterización del agua tratada, a la salida del Reactor Biológico (AT1)

Cuadro 10.91.- Fase 5ª (I. Fondo): Caracterización de las Cargas de entrada al Filtro de Arena (AT1)

Cuadro 10.92.- Fase 5ª (I. Fondo): Caracterización del agua tratada, a la salida del Filtro de Arena (AT2)

Cuadro 10.93.- Fase 5ª (I. Fondo): Caracterización de los Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Reactor Biológico (AT1)

Cuadro 10.94.- Fase 5ª (I. Fondo): Caracterización de los Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Filtro de Arena (AT2)

Cuadro 10.95.- Fase 5ª (I. Fondo): Caracterización de los Rendimientos de eliminación (%), de la salida del Filtro de Arena respecto a la salida del Reactor Biológico (AT2/AT1)

Cuadro 10.96.- Fase 5ª (I. Fondo): Caracterización de Algunos parámetros referentes a la aireación en el Reactor Biológico

Nota.- La varianza que aparece en todas las tablas siguientes, se define como la media de los cuadrados de las desviaciones a la media, usándose para su cálculo, la fórmula que tiene por denominador el número de miembros de la muestra (n). En consecuencia, la desviación típica se calcula a partir de dicho concepto de la varianza.

Cuadro 10.88.- Fase 5ª (I. Fondo): Caracterización del agua de entrada al Reactor Biológico (AB)

Parámetro estadístico	Caudal de agua (l/h)	pH	DQO (mg/l)	DBO₅ (mg/l)	SS (mg/l)
Mínimo	25	7,0	297	130	60
Máximo	100	7,5	609	310	208
Rango o amplitud	75	0,5	312	180	148
Media aritmética	55,31	7,3	488	243	106
Desviación media	17,817	0,1456	56,0237	31,6036	22,0296
Varianza (*)	493,98	0,0286	5437,85	1843,21	939,160
Desviación típica	22,226	0,1692	73,7418	42,9326	30,6457
Coef. de variación	40,19	2,33	15,11	17,66	28,81

Cuadro 10.89.- Fase 5ª (I. Fondo): Caracterización de las Cargas de entrada al Reactor Biológico (AB)

Parámetro estadístico	Ch (m/h)	C.vol. DQO (Kg.DQO/m²/d)	C.vol. DBO₅ (Kg.DBO₅/m²/d)	C.vol. SS (Kg.SS/m²/d)	C.sup. DBO₅ (Kg.DBO₅/m²/d)
Mínimo	0,38	2,50	1,09	0,83	1,18
Máximo	1,51	16,96	8,44	3,50	9,12
Rango o amplitud	1,14	14,46	7,35	2,67	7,94
Media aritmética	0,84	9,20	4,60	1,94	4,97
Desviación media	0,2697	3,0226	1,5386	0,6912	1,6617
Varianza (*)	0,1132	15,3864	3,9284	0,6759	4,5821
Desviación típica	0,3365	3,9226	1,9820	0,8221	2,1406
Coef. de variación	40,19	42,64	43,10	42,44	43,10

Cuadro 10.90.- Fase 5ª (I. Fondo): Caracterización del agua tratada, a la salida del Reactor Biológico (AT1)

Parámetro estadístico	pH	DQO (mg/l)	DBO₅ (mg/l)	SS (mg/l)
Mínimo	7,2	62	14	12
Máximo	8,2	178	39	57
Rango o amplitud	1,0	116	25	45
Media aritmética	7,6	118	25	25
Desviación media	0,1953	29,2071	6,1302	9,0414
Varianza (*)	0,0639	1132,60	53,4438	142,226
Desviación típica	0,2528	33,6541	7,3105	11,9259
Coef. de variación	3,34	28,59	29,61	47,05

Cuadro 10.91.- Fase 5ª (I. Fondo): Caracterización de las Cargas de entrada al Filtro de Arena (AT1)

Parámetro estadístico	Ch (m/h)	C.vol. DQO (Kg.DQO/m²/d)	C.vol. SS (Kg.SS/m²/d)	C.vol. DBO₅ (Kg.DBO₅/m²/d)	C.sup. DBO₅ (Kg.DBO₅/m²/d)
Mínimo	0,38	0,76	0,15	0,17	0,13
Máximo	1,51	8,14	2,37	1,89	1,42
Rango o amplitud	1,14	7,38	2,23	1,72	1,29
Media aritmética	0,84	3,38	0,75	0,72	0,54
Desviación media	0,2697	1,5317	0,4361	0,3530	0,2648
Varianza (*)	0,1132	3,9745	0,3167	0,2240	0,1260
Desviación típica	0,3365	1,9936	0,5627	0,4733	0,3550
Coef. de variación	40,19	58,97	74,98	65,58	65,58

Cuadro 10.92.- Fase 5ª (I. Fondo): Caracterización del agua tratada, a la salida del Filtro de Arena (AT2)

Parámetro estadístico	pH	DQO (mg/l)	DBO₅ (mg/l)	SS (mg/l)
Mínimo	7,4	23	8	5
Máximo	8,2	123	33	38
Rango o amplitud	0,8	100	25	33
Media aritmética	7,7	79	21	15
Desviación media	0,2154	27,54	6,885	6,278
Varianza (*)	0,0646	977,9	64,96	72,98
Desviación típica	0,2542	31,27	8,060	8,543
Coef. de variación	3,30	39,72	38,31	56,37

Cuadro 10.93.- Fase 5ª (I. Fondo): Caracterización de los Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Reactor Biológico (AT1)

Parámetro estadístico	DQO (%)	DBO₅ (%)	SS (%)
Mínimo	62,08	81,55	44,12
Máximo	86,22	93,93	92,79
Rango o amplitud	24,14	12,38	48,67
Media aritmética	75,89	89,66	74,47
Desviación media	5,094	2,501	10,27
Varianza (*)	35,39	9,982	154,3
Desviación típica	5,949	3,159	12,42
Coef. de variación	7,84	3,52	16,68

Cuadro 10.94.- Fase 5ª (I. Fondo): Caracterización de los Rendimientos de eliminación (%), a la salida del Filtro de Arena (AT2)

Parámetro estadístico	DQO (%)	DBO₅ (%)	SS (%)
Mínimo	72,22	87,25	62,75
Máximo	92,87	95,71	96,63
Rango o amplitud	20,65	8,46	33,89
Media aritmética	83,99	91,45	84,91
Desviación media	5,326	2,435	6,716
Varianza (*)	36,44	7,443	67,05
Desviación típica	6,037	2,728	8,188
Coef. de variación	7,19	2,98	9,64

Cuadro 10.95.- Fase 5ª (I. Fondo): Caracterización de los Rendimientos de eliminación (%), de la salida del Filtro de Arena respecto a la salida del Reactor Biológico (AT2/AT1)

Parámetro estadístico	DQO (%)	DBO₅ (%)	SS (%)
Mínimo	9,47	-4,17	-23,1
Máximo	63,49	57,89	60,0
Rango o amplitud	54,02	62,06	83,08
Media aritmética	34,68	16,41	40,41
Desviación media	13,42	14,27	12,32
Varianza (*)	238,6	284,9	304,7
Desviación típica	15,45	16,88	17,46
Coef. de variación	44,54	102,9	43,19

Cuadro 10.96.- Fase 5ª (I. Fondo): Caracterización de algunos parámetros referentes a la aireación en el Reactor Biológico

Parámetro estadístico	Kg. O₂ / l. agua bruta	Kg. O₂ / Kg. DBO_{5, elim} (R.B.)
Mínimo	0,0013	0,49
Máximo	0,0052	3,62
Rango o amplitud	0,0039	3,13
Media aritmética	0,0029	1,12
Desviación media	0,0010	0,5390
Varianza (*)	0,000002	0,5879
Desviación típica	0,0012	0,7667
Coef. de variación	42,92	68,45

10.4.3.- Estudio, por fases, de las cargas de trabajo admisibles

1) Fase 1ª: Relleno Cerámico (1,5 metros): Filtro de Arena (1,25 metros): caudal de aire = 0,2 Kg. O₂ / hora (11,2 Nm³ / m² / hora. de aire)

1.a) Reactor Biológico:

✓ DBO.- Observando las curvas de ajuste que representan la DBO de salida, se aprecia una Carga vol. DBO, máx.= 3,65 Kg.DBO / m³ / d (obtenida en base al nivel de salida máximo exigido), para alcanzar una DBO < 25 mg/l. Por otra parte, se tiene una C_{h, máx.} = 0,96 m/h (también obtenida conforme a la limitación de los niveles de salida), para alcanzar

igualmente dicho umbral. Esta carga volumétrica y esta carga hidráulica aparecen simultáneamente para una $DBO_{entrada} = 238 \text{ mg/l}$. Por tanto, si se tiene una $DBO_{entrada} > 238 \text{ mg/l}$, significa que, en el caso de diseño de un lecho inundado con las condiciones de esta fase, hemos de fijar la C. vol. DBO, máx. y reducir la carga hidráulica. En caso contrario, se procederá a la inversa, es decir, fijaremos la carga hidráulica y se diseñará el sistema con una carga volumétrica inferior a la máxima.

✓ SS.- La Carga hidráulica admisible es de 2,24 m/h (obtenida para el límite de rendimientos marcado por la Directiva) y la Carga vol. SS, de 4,3 Kg.SS / m^3 / d (también obtenida en rendimientos), para lograr efluentes con $Rdto.(SS) > 90 \%$. Estas cargas, teniendo lugar simultáneamente, supondrían unos $SS_{entrada}$ de 120 mg/l.

✓ Dada la enorme diferencia de cargas hidráulicas admisibles, queda claro que la eliminación de DBO, para esta fase, siempre será más restrictiva para el diseño, y el funcionamiento, en cuanto a eliminación de SS, se encontrará en rangos de carga de entrada asociados a valores de salida bastante óptimos.

1.b) Filtro de Arena (nuevas cargas admisibles en el Reactor Biológico):

✓ DBO.- Observando las curvas de ajuste que representan la DBO de

salida, se aprecia una nueva Carga vol. DBO, $\text{máx.} = 5,5 \text{ Kg.DBO} / \text{m}^3 / \text{d}$ (obtenida en base al nivel de salida máximo exigido), para alcanzar una DBO $< 25 \text{ mg/l}$. Por otra parte, se tiene una $C_{h, \text{máx.}} = 1,57 \text{ m/h}$ (también obtenida conforme a la limitación de los niveles de salida), para alcanzar igualmente dicho umbral.

✓ SS.- La nueva Carga hidráulica admisible es de $3,48 \text{ m/h}$ (obtenida para el límite de rendimientos marcado por la Directiva) y la Carga vol. SS, de $6,9 \text{ Kg.SS} / \text{m}^3 / \text{d}$ (también obtenida en rendimientos), para lograr efluentes con $\text{Rdto. (SS)} > 90 \%$.

2) Fase 2ª: Relleno Cerámico (1,5 metros): Filtro de Arena (1,25 metros): caudal de aire = $0,7 \text{ Kg. O}_2 / \text{hora}$ ($38,75 \text{ Nm}^3 / \text{m}^2 / \text{hora}$, de aire)

2.a) Reactor Biológico:

✓ DBO.- Observando las curvas de ajuste que representan la DBO de salida, se aprecia una Carga vol. DBO, $\text{máx.} = 1,55 \text{ Kg.DBO} / \text{m}^3 / \text{d}$ (obtenida en base al nivel de salida máximo exigido), para alcanzar una DBO $< 25 \text{ mg/l}$. Por otra parte, se tiene una $C_{h, \text{máx.}} = 0,53 \text{ m/h}$ (también obtenida conforme a la limitación de los niveles de salida), para alcanzar igualmente dicho umbral. Esta carga volumétrica y esta carga hidráulica aparecen simultáneamente para una $\text{DBO}_{\text{entrada}} = 183 \text{ mg/l}$. Por tanto, si

se tiene una $DBO_{\text{entrada}} > 183 \text{ mg/l}$ (como cabe esperar), significa que, en el caso de diseño de un lecho inundado con las condiciones de esta fase, hemos de fijar la C vol. DBO, máx. y reducir la carga hidráulica.

✓ SS.- La Carga hidráulica admisible es de $1,19 \text{ m/h}$ (obtenida según las exigencias de rendimientos mínimos exigidos) y la Carga vol. SS, de $2,18 \text{ Kg.SS} / \text{m}^3 / \text{d}$ (también se obtiene en base a los rendimientos), para lograr efluentes con $R\text{dto.}(SS) > 90 \%$. Estas cargas se tienen simultáneamente para $SS = 114 \text{ mg} / \text{l}$.

✓ Dada la enorme diferencia de cargas hidráulicas admisibles, queda claro que la eliminación de DBO, para esta fase, siempre será más restrictiva para el diseño, y el funcionamiento, en cuanto a eliminación de SS, se encontrará en rangos de carga de entrada asociados a valores de salida bastante óptimos.

2.b) Filtro de Arena (nuevas cargas admisibles en el Reactor Biológico):

✓ DBO.- Observando las curvas de ajuste que representan la DBO de salida, se aprecia una nueva Carga vol. DBO, máx. = $5,2 \text{ Kg.DBO} / \text{m}^3 / \text{d}$ (obtenida en base al nivel de salida máximo exigido), para alcanzar una $DBO < 25 \text{ mg/l}$. Por otra parte, se tiene una nueva $C_{h, \text{máx}} = 1,4 \text{ m/h}$ (también obtenida conforme a la limitación de los niveles de salida),

para alcanzar igualmente dicho umbral.

✓ SS.- La nueva Carga hidráulica admisible es de 2,62 m/h (obtenida para el límite de rendimientos marcado por la Directiva) y la nueva Carga vol. SS, de 2,18 Kg.SS / m³ / d (también obtenida en rendimientos), para lograr efluentes con Rdto.(SS) > 90 %.

3) Fase 3ª: Relleno Doble Capa (flujo contra-corriente): Filtro de Arena (0,75 metros): caudal de aire = 0,13 Kg. O₂ / hora (7,26 Nm³ / m² / hora, de aire)

3.a) Reactor Biológico:

✓ DBO.- Observando las curvas de ajuste que representan la DBO de salida, se aprecia una Carga vol. DBO, máx.= 5,88 Kg.DBO / m³ / d (conforme a la limitación correspondiente a los niveles de salida máximos permitidos), para alcanzar efluentes con DBO < 25 mg/l. Por otra parte, se tiene una $C_{h, \text{máx.}} = 1,58$ m/h (también en base a niveles de salida), para alcanzar igualmente dicho umbral. Esta carga volumétrica y esta carga hidráulica aparecen simultáneamente para una $DBO_{\text{entrada}} = 202$ mg / l.

✓ SS.- La Carga hidráulica admisible es de 1,37 m/h (obtenida según las exigencias de rendimientos mínimos exigidos) y la Carga vol. SS, de

3,1 Kg.SS / m³ / d (también se obtiene en base a los rendimientos).

Estas cargas se tienen simultáneamente para SS = 123 mg / l.

✓ Dada la similitud en el orden de magnitud de cargas hidráulicas admisibles, sería más restrictiva la eliminación de aquel contaminante cuya entrada fuera más anormalmente elevada y se separase en mayor medida de las críticas, calculadas en 3.a) y 3.b).

3.b) *Filtro de Arena (nuevas cargas admisibles en el Reactor Biológico):*

✓ DBO.- Observando las curvas de ajuste que representan la DBO de salida, se aprecia una nueva Carga vol. DBO, máx.= 5,88 Kg.DBO / m³ / d (obtenida en base al nivel de salida máximo exigido), para alcanzar una DBO < 25 mg/l. Por otra parte, se tiene una nueva $C_{h,máx} = 1,27$ m/h (también obtenida conforme a la limitación de los niveles de salida), para alcanzar igualmente dicho umbral.

✓ SS.- La nueva Carga hidráulica admisible es de 1,75 m/h (obtenida para el límite de rendimientos marcado por la Directiva) y la nueva Carga vol. SS, de 4 Kg.SS / m³ / d (también obtenida en rendimientos), para lograr efluentes con Rdto.(SS) > 90 %.

4) Fase 4ª: Relleno Doble Capa (flujo contra-corriente); Filtro de Arena (0.75 metros); caudal de aire = 0.2 Kg. O₂ / hora (11.2 Nm³ / m² / hora. de aire)

4.a) *Reactor Biológico:*

Tanto los niveles de salida como los rendimientos, presentan un comportamiento bastante óptimo, teniendo como una limitación cierta y, dentro de márgenes razonables de carga aplicada, la C. vol.DBO, máx. = 11,35 Kg.DBO / m³ / d (obtenida conforme a las exigencias marcadas por la Directiva 91/271 CEE, respecto a niveles de salida).

4.b) *Filtro de Arena (nuevas cargas admisibles en el Reactor Biológico):*

Igualmente al Reactor Biológico, se observa un óptimo funcionamiento del Filtro de Arena durante esta fase, que apenas participa de los rendimientos de eliminación, en cuanto a DBO₅ se refiere.

En el rango de cargas aplicadas en los experimentos, todas las muestras analizadas cumplieron las exigencias de la Directiva 91/271 CEE, en DBO₅ y SS. Las curvas de ajuste tampoco intersectaron con las rectas que marcaban dichas exigencias.

5) Fase 5ª: Relleno Doble Capa (flujo co-corriente); Filtro de Arena (0.75 metros):

caudal de aire = 0,13 Kg. O₂ / hora (7,26 Nm³ / m² / hora, de aire)

5.a) *Reactor Biológico:*

✓ DBO.- Observando las curvas de ajuste que representan la DBO de salida, se aprecia una Carga vol. DBO, máx.= 4,81 Kg.DBO / m³ / d (obtenida en base al nivel de salida máximo exigido), para alcanzar una DBO < 25 mg/l. Por otra parte, se tiene una C_{h, máx.} = 0,84 m/h (también obtenida conforme a la limitación de los niveles de salida), para alcanzar igualmente dicho umbral. Esta carga volumétrica y esta carga hidráulica aparecen simultáneamente para una DBO_{entrada} = 262 mg/l. Por tanto, si se tiene una DBO_{entrada} < 262 mg/l, significa que, en el caso de diseño de un lecho inundado con las condiciones de esta fase, hemos de fijar la carga hidráulica y reducir la C. vol. DBO.

✓ SS.- Todas las muestras analizadas presentaron un rendimiento de eliminación inferior al 90 %, marcado por la Directiva 91/271 CEE.

✓ Este caso es el único en el que, sin lugar a la duda, limita más la eliminación de Sólidos en Suspensión que la DBO. También se da la circunstancia de tratarse de la única fase en la que, con igual claridad meridiana, la carga hidráulica es más restrictiva que la carga

volumétrica.

5.b) Filtro de Arena (nuevas cargas admisibles en el Reactor Biológico):

✓ DBO.- Observando las curvas de ajuste que representan la DBO de salida, se aprecia una nueva Carga vol. DBO, máx.= 5,9 Kg.DBO / m³ / d (obtenida en base al nivel de salida máximo exigido), para alcanzar una DBO < 25 mg/l. Por otra parte, se tiene una nueva $C_{h, \text{máx.}} = 0,9$ m/h (también obtenida conforme a la limitación de los niveles de salida), para alcanzar igualmente dicho umbral.

✓ SS.- La nueva Carga hidráulica admisible es de 0,78 m/h (obtenida para el límite de rendimientos marcado por la Directiva) y la nueva Carga vol. SS, de 2,28 Kg.SS / m³ / d (también obtenida en rendimientos), para lograr efluentes con Rdto.(SS) > 90 %.

10.4.4.- Presentación gráfica de la relación entre variables y parámetros

En este apartado, se recogen los gráficos relacionados a continuación:

Gráfico 10.11.- Fase n^º1 (I. Fondo): Carga vol. DBO / DBO de salida

Gráfico 10.12.- Fase n^º1 (I. Fondo): Carga vol. SS / SS de salida

Gráfico 10.13.- Fase n^º1 (I. Fondo): Carga hidráulica / DBO de salida

Gráfico 10.14.- Fase n^º1 (I. Fondo): Carga hidráulica / SS de salida

- Gráfico 10.15.- Fase n^o1 (I. Fondo): Carga vol. DBO / Rendimiento de DBO
- Gráfico 10.16.- Fase n^o1 (I. Fondo): Carga vol. SS / Rendimiento de SS
- Gráfico 10.17.- Fase n^o1 (I. Fondo): Carga hidráulica / Rendimiento de DBO
- Gráfico 10.18.- Fase n^o1 (I. Fondo): Carga hidráulica / Rendimiento de SS
- Gráfico 10.19.- Fase n^o1 (I. Fondo): Rendimiento medio de DBO, en distintas etapas del proceso
- Gráfico 10.20.- Fase n^o1 (I. Fondo): Rendimiento medio de SS, en distintas etapas del proceso
- Gráfico 10.21.- Fase n^o1 (I. Fondo): Carga vol. DBO / Kg. O₂/Kg. DBO_{5,elimin}
- Gráfico 10.22.- Fase n^o2 (I. Fondo): Carga vol. DBO / DBO de salida
- Gráfico 10.23.- Fase n^o2 (I. Fondo): Carga vol. SS / SS de salida
- Gráfico 10.24.- Fase n^o2 (I. Fondo): Carga hidráulica / DBO de salida
- Gráfico 10.25.- Fase n^o2 (I. Fondo): Carga hidráulica / SS de salida
- Gráfico 10.26.- Fase n^o2 (I. Fondo): Carga vol. DBO / Rendimiento de DBO
- Gráfico 10.27.- Fase n^o2 (I. Fondo): Carga vol. SS / Rendimiento de SS
- Gráfico 10.28.- Fase n^o2 (I. Fondo): Carga hidráulica / Rendimiento de DBO
- Gráfico 10.29.- Fase n^o2 (I. Fondo): Carga hidráulica / Rendimiento de SS
- Gráfico 10.30.- Fase n^o2 (I. Fondo): Rendimiento medio de DBO, en distintas etapas del proceso
- Gráfico 10.31.- Fase n^o2 (I. Fondo): Rendimiento medio de SS, en distintas etapas del proceso
- Gráfico 10.32.- Fase n^o2 (I. Fondo): Carga vol. DBO / Kg. O₂/Kg. DBO_{5,elimin}
- Gráfico 10.33.- Fase n^o3 (I. Fondo): Carga vol. DBO / DBO de salida
- Gráfico 10.34.- Fase n^o3 (I. Fondo): Carga vol. SS / SS de salida
- Gráfico 10.35.- Fase n^o3 (I. Fondo): Carga hidráulica / DBO de salida
- Gráfico 10.36.- Fase n^o3 (I. Fondo): Carga hidráulica / SS de salida
- Gráfico 10.37.- Fase n^o3 (I. Fondo): Carga vol. DBO / Rendimiento de DBO
- Gráfico 10.38.- Fase n^o3 (I. Fondo): Carga vol. SS / Rendimiento de SS
- Gráfico 10.39.- Fase n^o3 (I. Fondo): Carga hidráulica / Rendimiento de DBO
- Gráfico 10.40.- Fase n^o3 (I. Fondo): Carga hidráulica / Rendimiento de SS
- Gráfico 10.41.- Fase n^o3 (I. Fondo): Rendimiento medio de DBO, en distintas etapas del proceso
-

- Gráfico 10.42.- Fase n^o3 (I. Fondo): Rendimiento medio de SS, en distintas etapas del proceso
- Gráfico 10.43.- Fase n^o3 (I. Fondo): Carga vol. DBO / Kg. O₂/Kg. DBO_{5,elimin}
- Gráfico 10.44.- Fase n^o4 (I. Fondo): Carga vol. DBO / DBO de salida
- Gráfico 10.45.- Fase n^o4 (I. Fondo): Carga vol. SS / SS de salida
- Gráfico 10.46.- Fase n^o4 (I. Fondo): Carga hidráulica / DBO de salida
- Gráfico 10.47.- Fase n^o4 (I. Fondo): Carga hidráulica / SS de salida
- Gráfico 10.48.- Fase n^o4 (I. Fondo): Carga vol. DBO / Rendimiento de DBO
- Gráfico 10.49.- Fase n^o4 (I. Fondo): Carga vol. SS / Rendimiento de SS
- Gráfico 10.50.- Fase n^o4 (I. Fondo): Carga hidráulica / Rendimiento de DBO
- Gráfico 10.51.- Fase n^o4 (I. Fondo): Carga hidráulica / Rendimiento de SS
- Gráfico 10.52.- Fase n^o4 (I. Fondo): Rendimiento medio de DBO, en distintas etapas del proceso
- Gráfico 10.53.- Fase n^o4 (I. Fondo): Rendimiento medio de SS, en distintas etapas del proceso
- Gráfico 10.54.- Fase n^o4 (I. Fondo): Carga vol. DBO / Kg. O₂/Kg. DBO_{5,elimin}
- Gráfico 10.55.- Fase n^o5 (I. Fondo): Carga vol. DBO / DBO de salida
- Gráfico 10.56.- Fase n^o5 (I. Fondo): Carga vol. SS / SS de salida
- Gráfico 10.57.- Fase n^o5 (I. Fondo): Carga hidráulica / DBO de salida
- Gráfico 10.58.- Fase n^o5 (I. Fondo): Carga hidráulica / SS de salida
- Gráfico 10.59.- Fase n^o5 (I. Fondo): Carga vol. DBO / Rendimiento de DBO
- Gráfico 10.60.- Fase n^o5 (I. Fondo): Carga vol. SS / Rendimiento de SS
- Gráfico 10.61.- Fase n^o5 (I. Fondo): Carga hidráulica / Rendimiento de DBO
- Gráfico 10.62.- Fase n^o5 (I. Fondo): Carga hidráulica / Rendimiento de SS
- Gráfico 10.63.- Fase n^o5 (I. Fondo): Rendimiento medio de DBO, en distintas etapas del proceso
- Gráfico 10.64.- Fase n^o5 (I. Fondo): Rendimiento medio de SS, en distintas etapas del proceso
- Gráfico 10.65.- Fase n^o5 (I. Fondo): Carga vol. DBO / Kg. O₂/Kg. DBO_{5,elimin}
- Gráfico 10.66.- Comparación entre Fases (I. Fondo): Niveles medios de salida de DBO
- Gráfico 10.67.- Comparación entre Fases (I. Fondo): Niveles medios de salida de SS
- Gráfico 10.68.- Comparación entre Fases (I. Fondo): Rendimientos medios de DBO
-

Gráfico 10.69.- Comparación entre Fases (I. Fondo): Rendimientos medios de SS

Gráfico 10.70.- Conformidad con la Directiva 91/271 CEE (I. Fondo): Niveles de salida de DBO

Gráfico 10.71.- Conformidad con la Directiva 91/271 CEE (I. Fondo): Niveles de salida de SS

Gráfico 10.72.- Conformidad con la Directiva 91/271 CEE (I. Fondo): Rendimientos de DBO

Gráfico 10.73.- Conformidad con la Directiva 91/271 CEE (I. Fondo): Rendimientos de SS

Nota. - La comparativa de los resultados obtenidos con la Directiva 91/271 CEE, en lo que se refiere a rendimientos, es indicativa del funcionamiento de los sistemas experimentados, pero la introducción de una variable más o menos incontrolada, como es el funcionamiento del tratamiento primario, cobra más relevancia, ya que aquéllos se calculan, directamente, por diferencia con los datos del agua de entrada a la E.D. donde se ubicaron las plantas piloto.

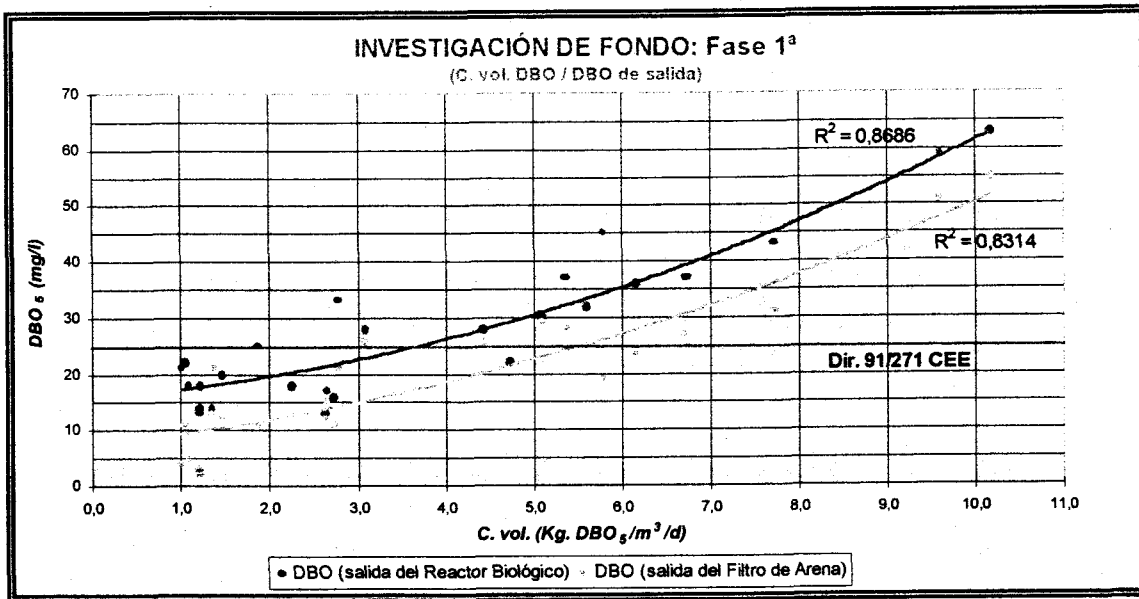


Gráfico 10.11

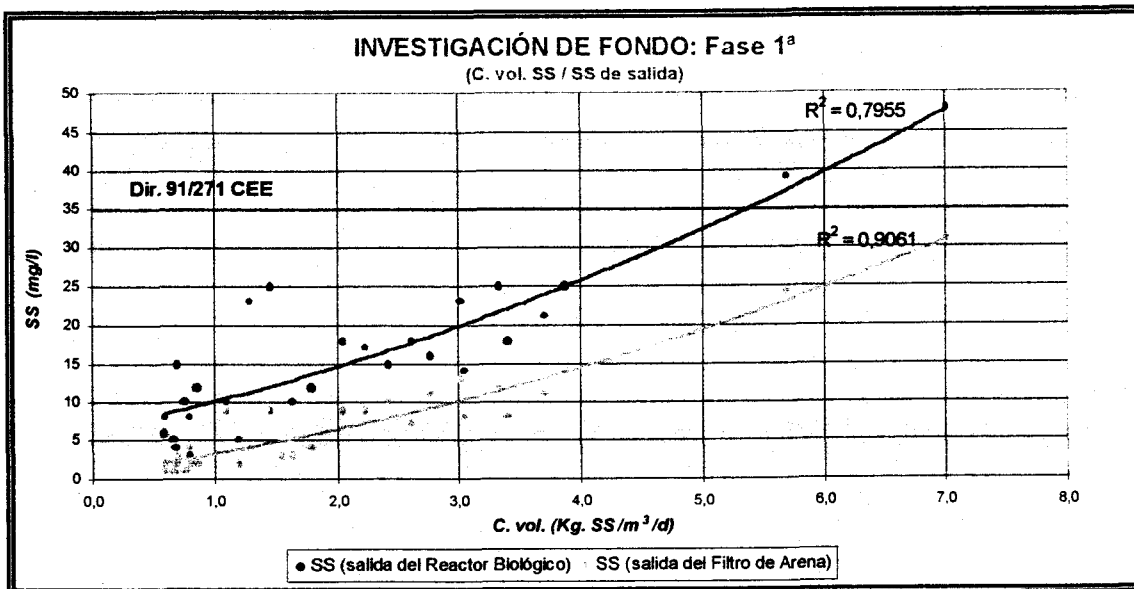


Gráfico 10.12

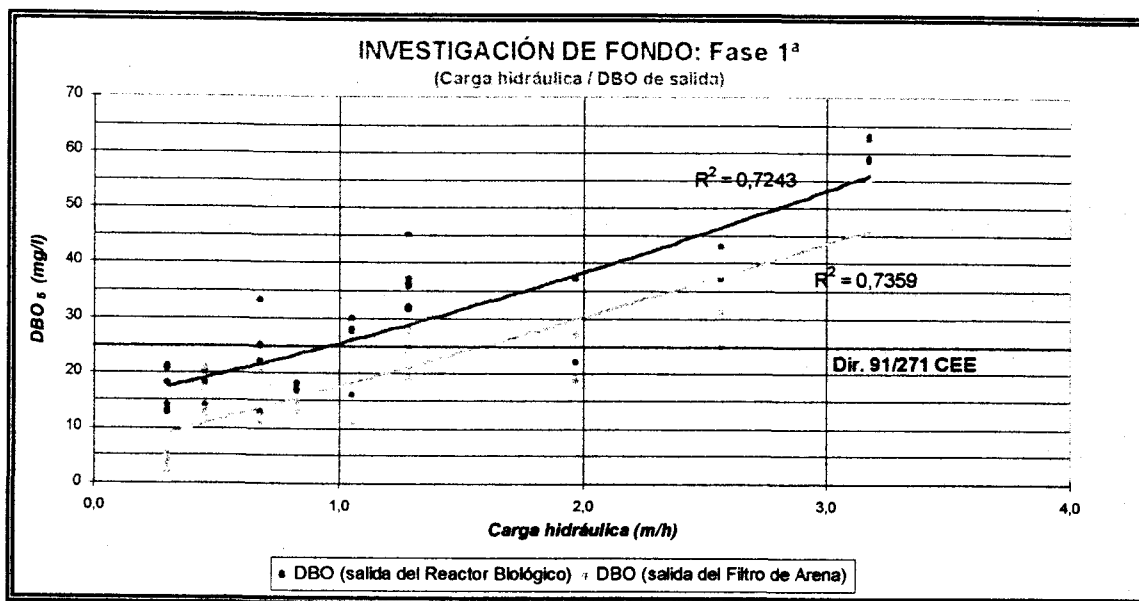


Gráfico 10.13

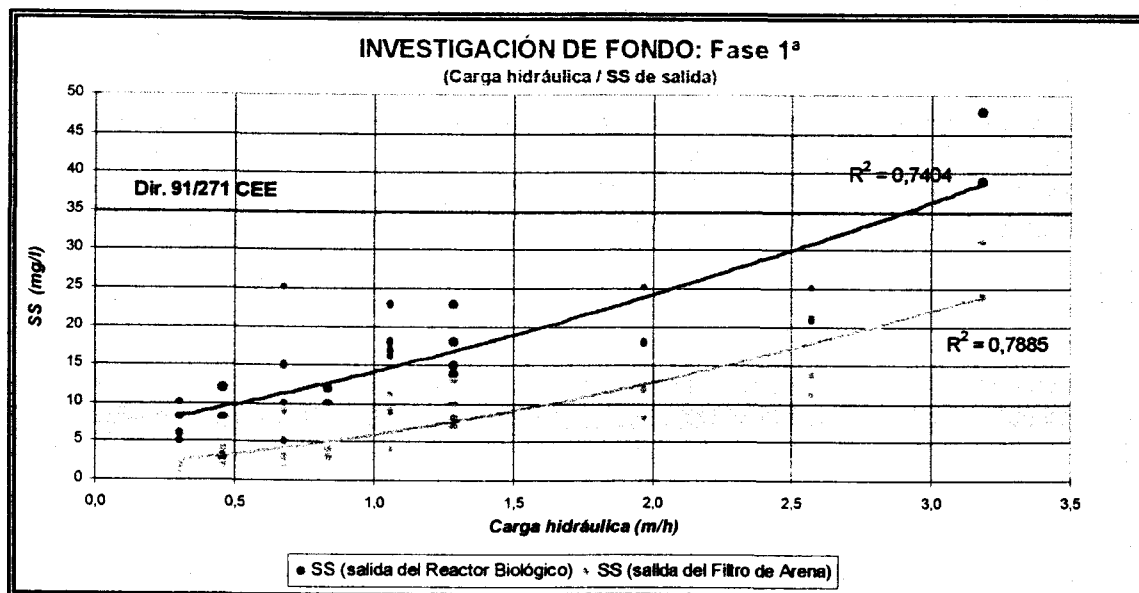


Gráfico 10.14

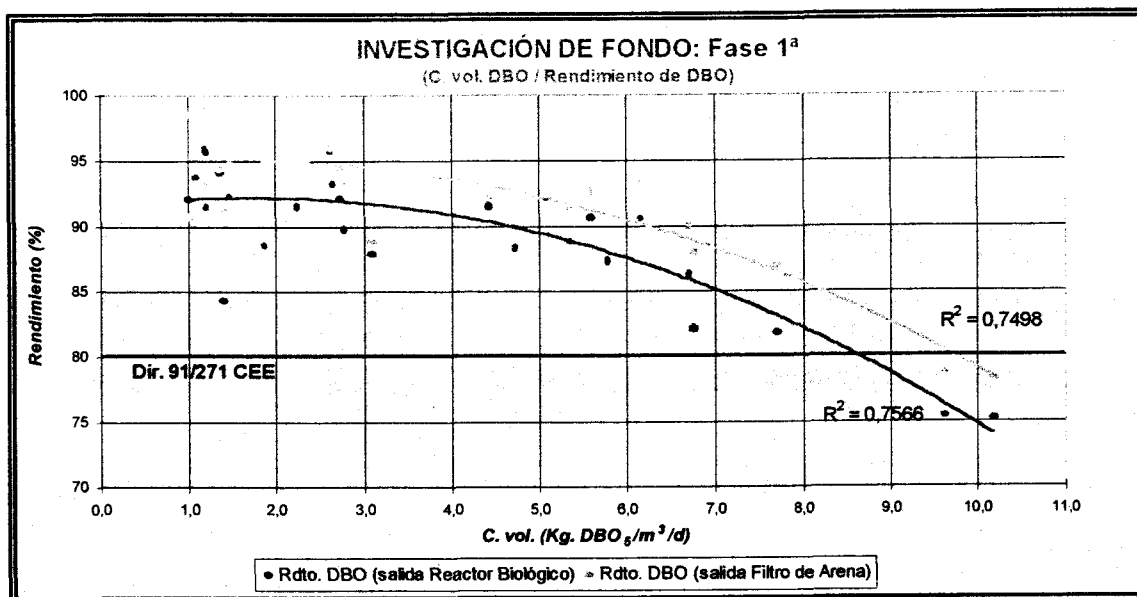


Gráfico 10.15

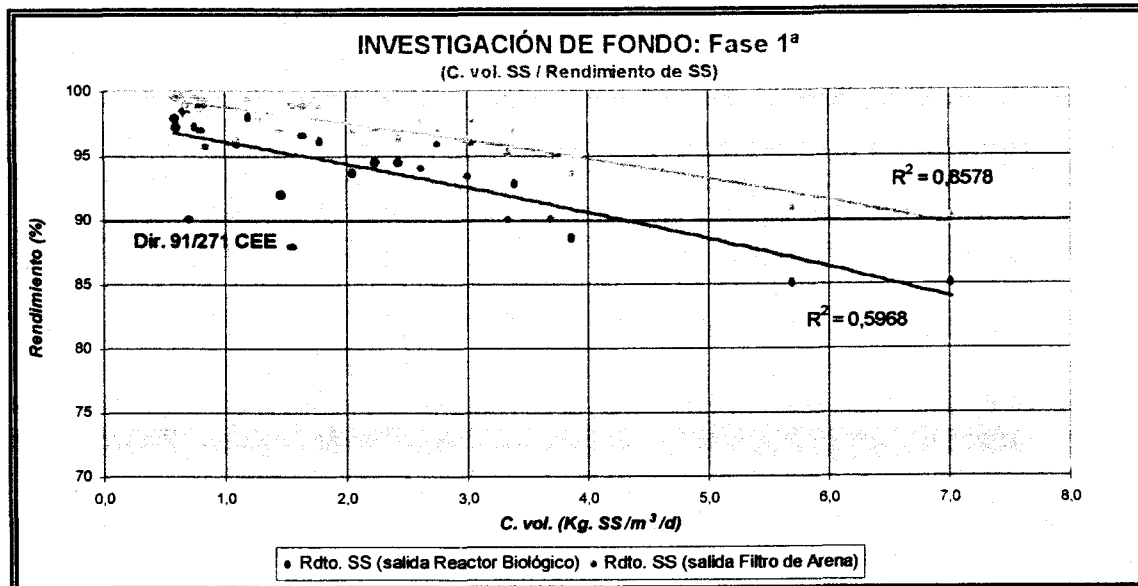


Gráfico 10.16

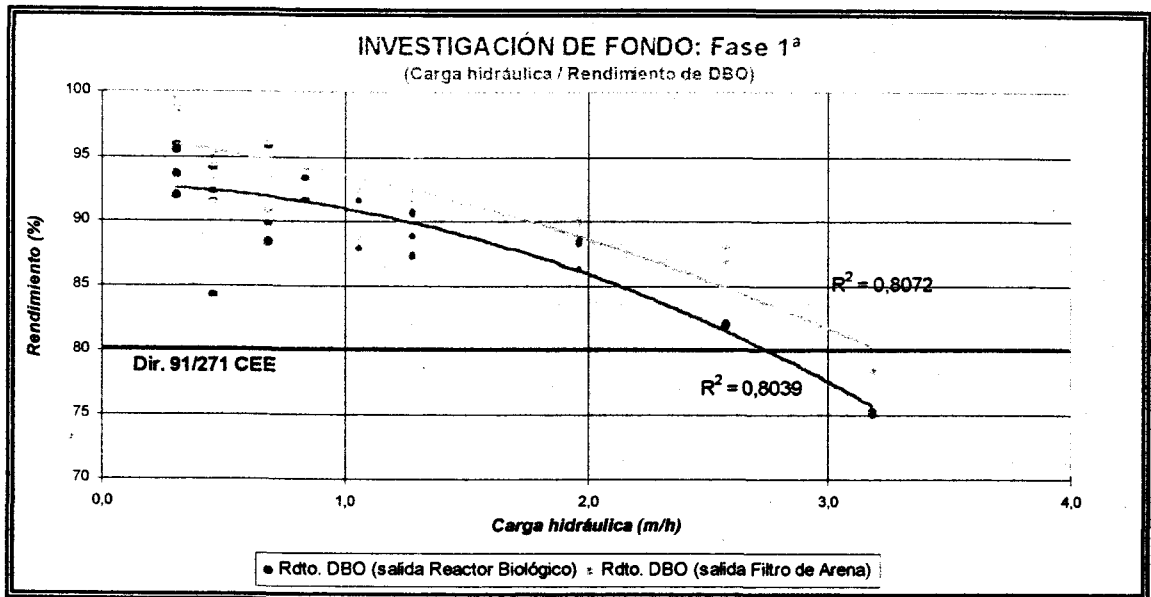


Gráfico 10.17

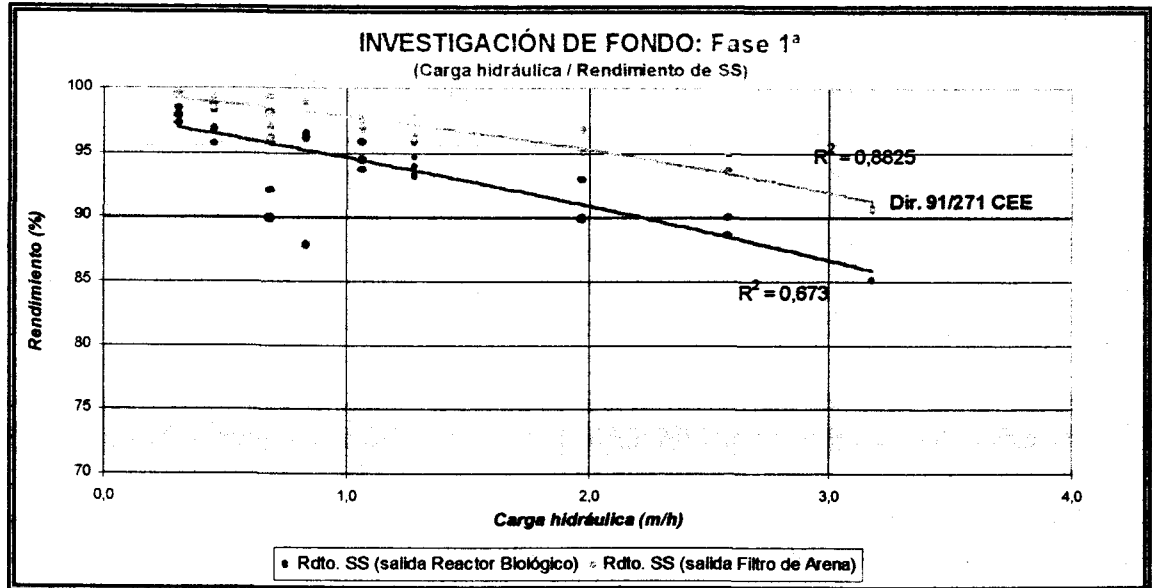


Gráfico 10.18

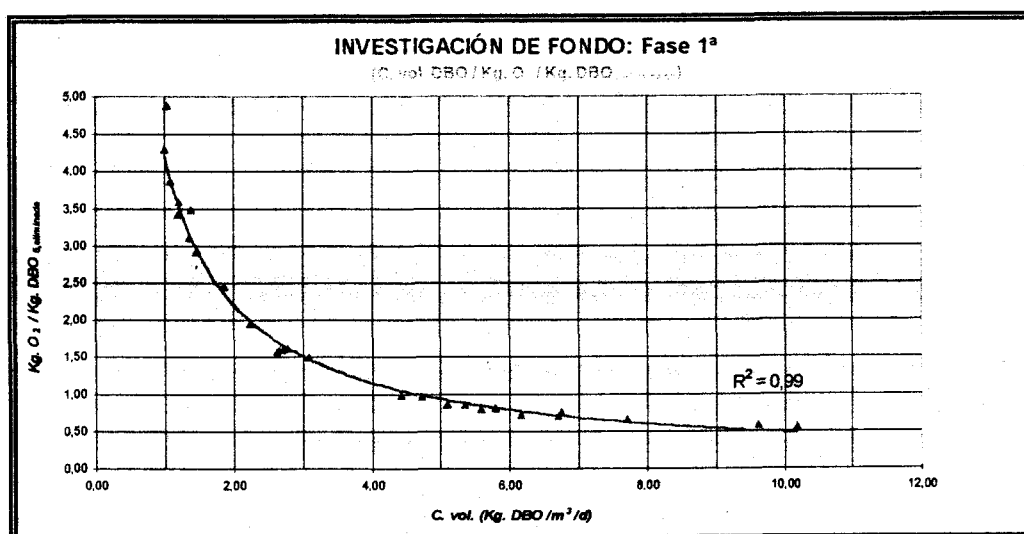
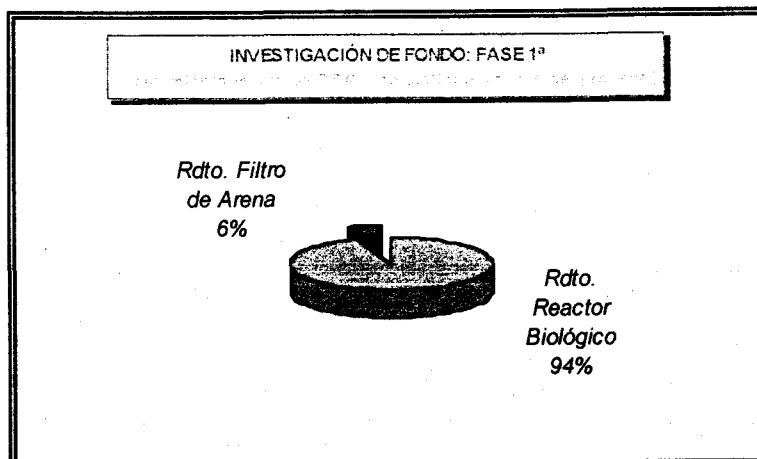


Gráfico 10.19, 10.20, 10.21

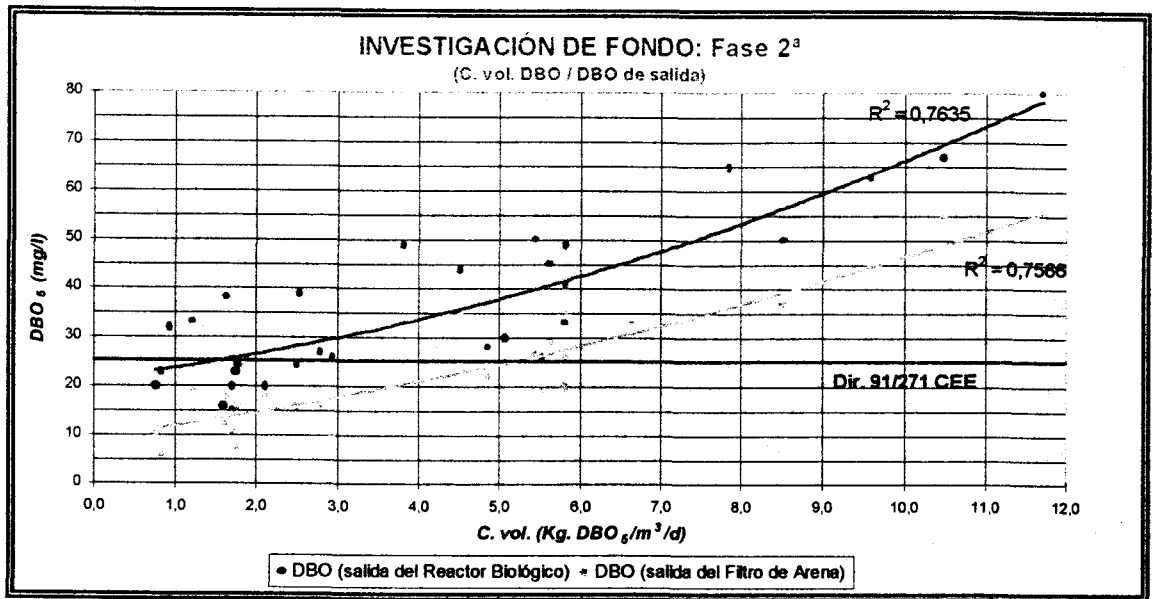


Gráfico 10.22

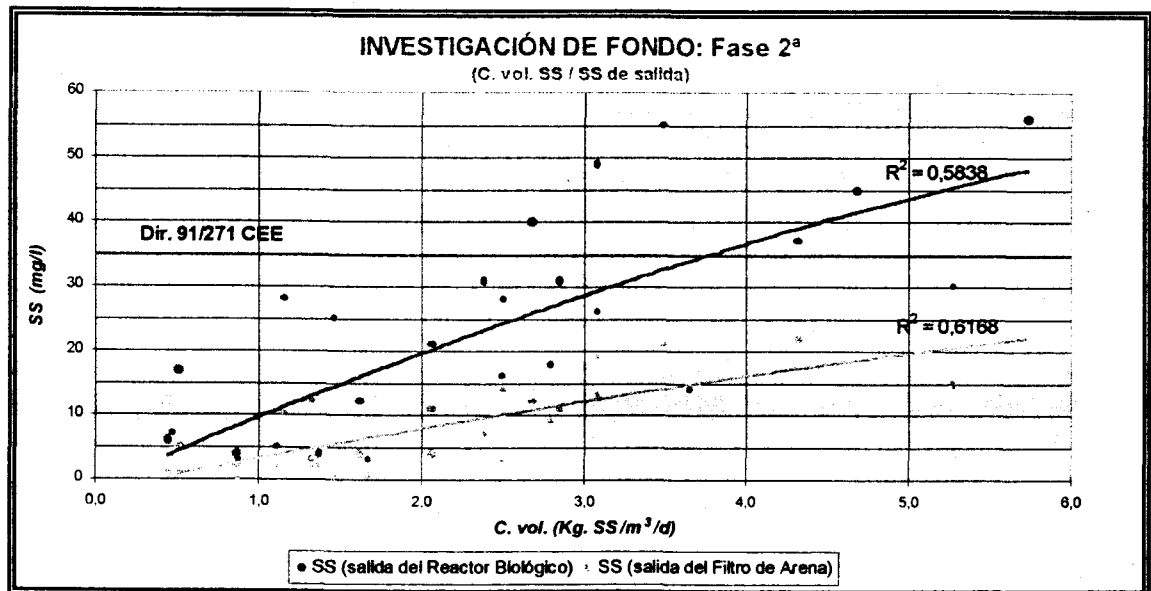


Gráfico 10.23

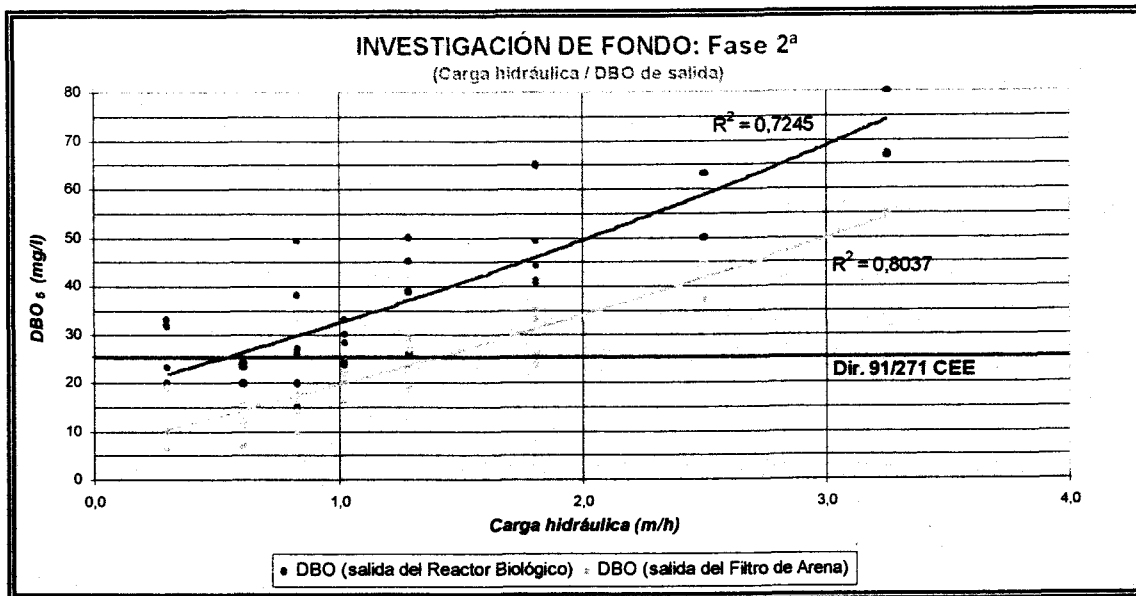


Gráfico 10.24

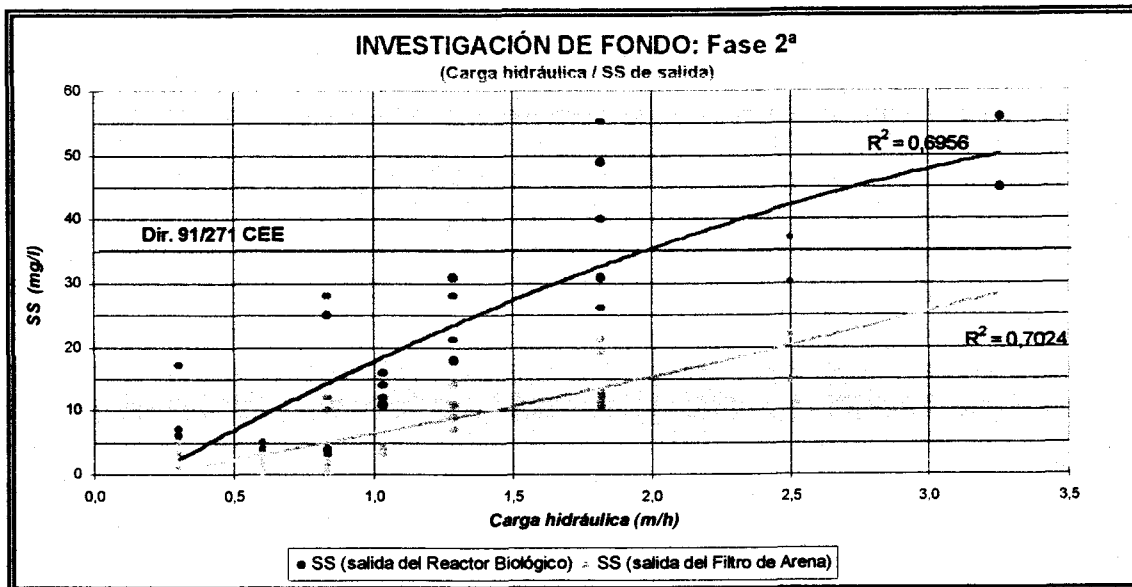


Gráfico 10.25

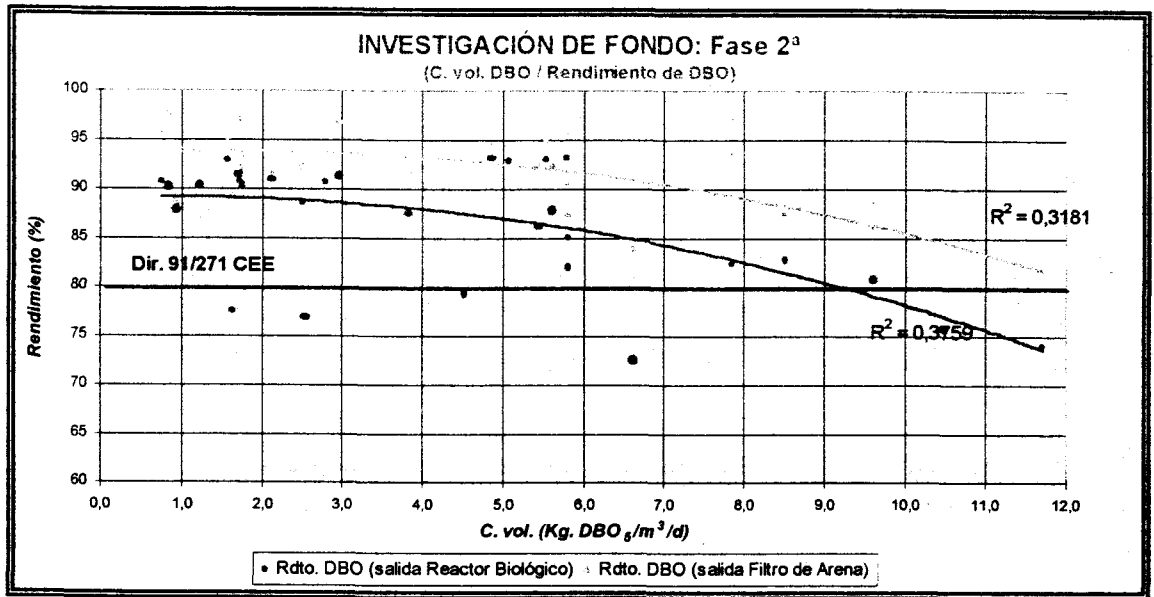


Gráfico 10.26

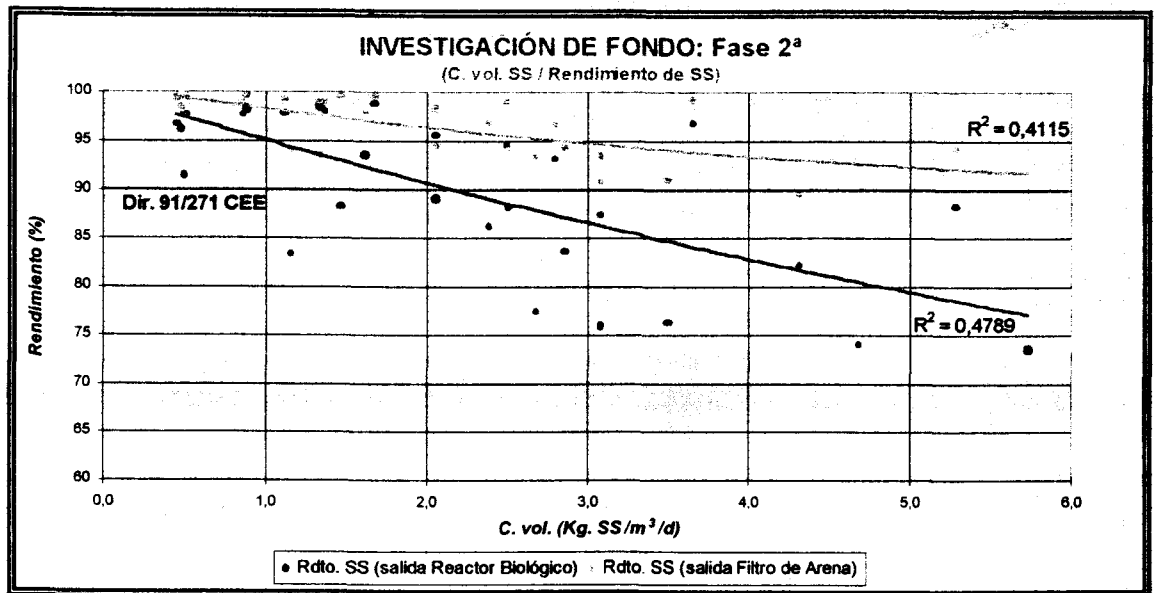


Gráfico 10.27

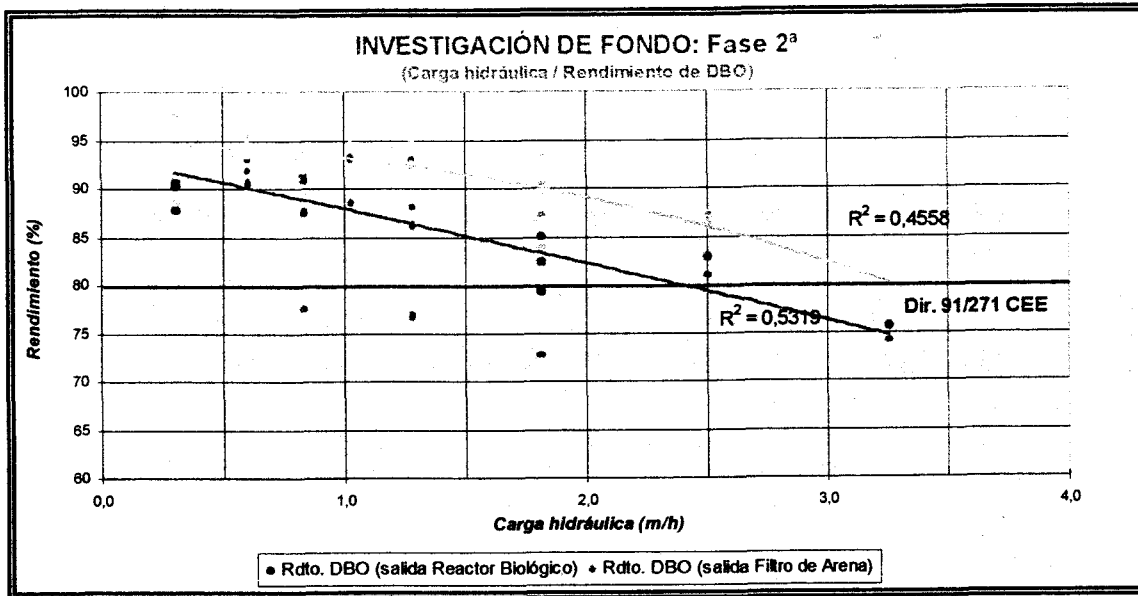


Gráfico 10.28

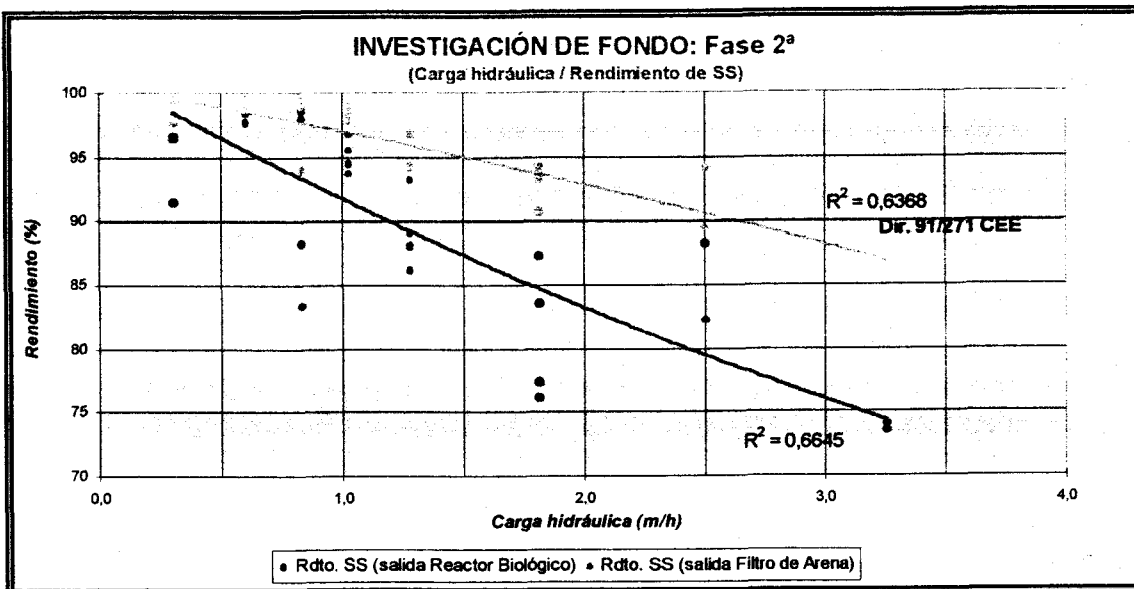


Gráfico 10.29

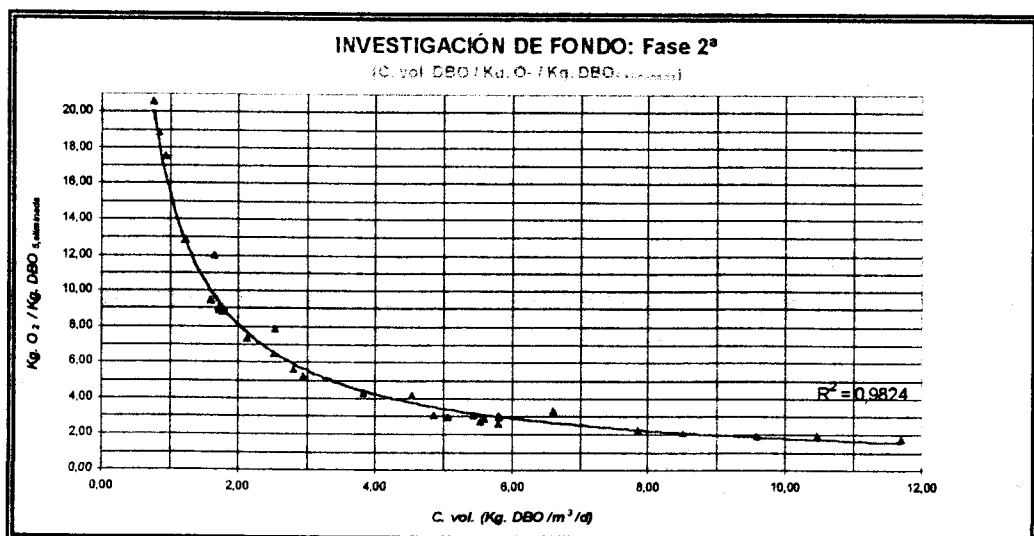
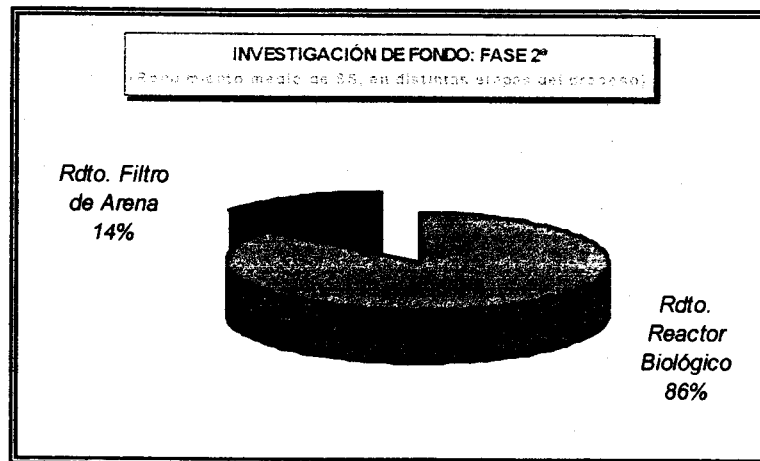


Gráfico 10.30, 10.31, 10.32

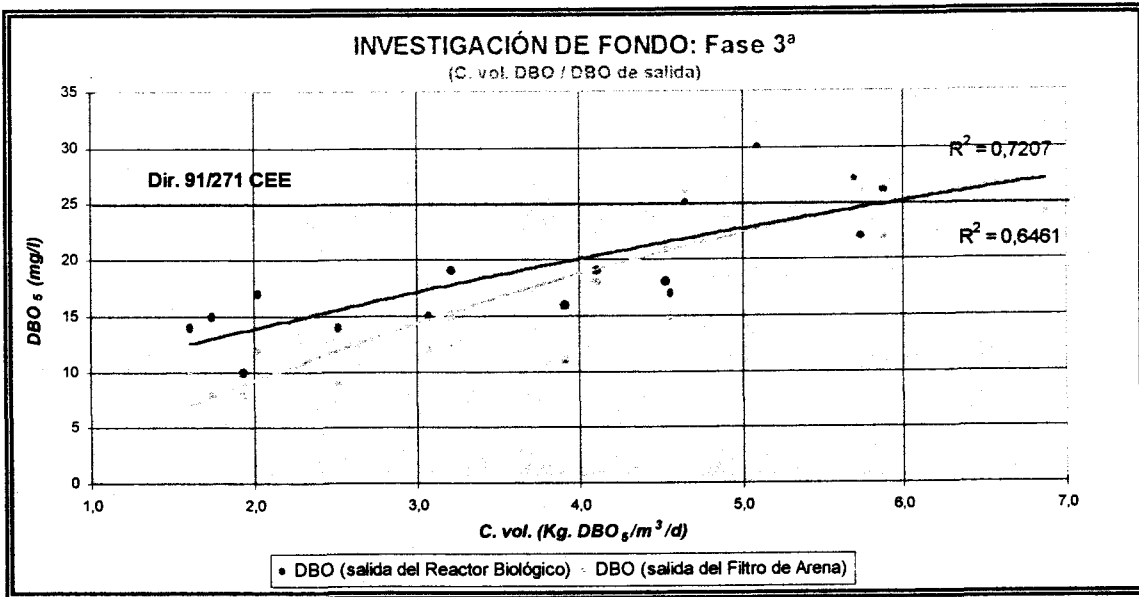


Gráfico 10.33

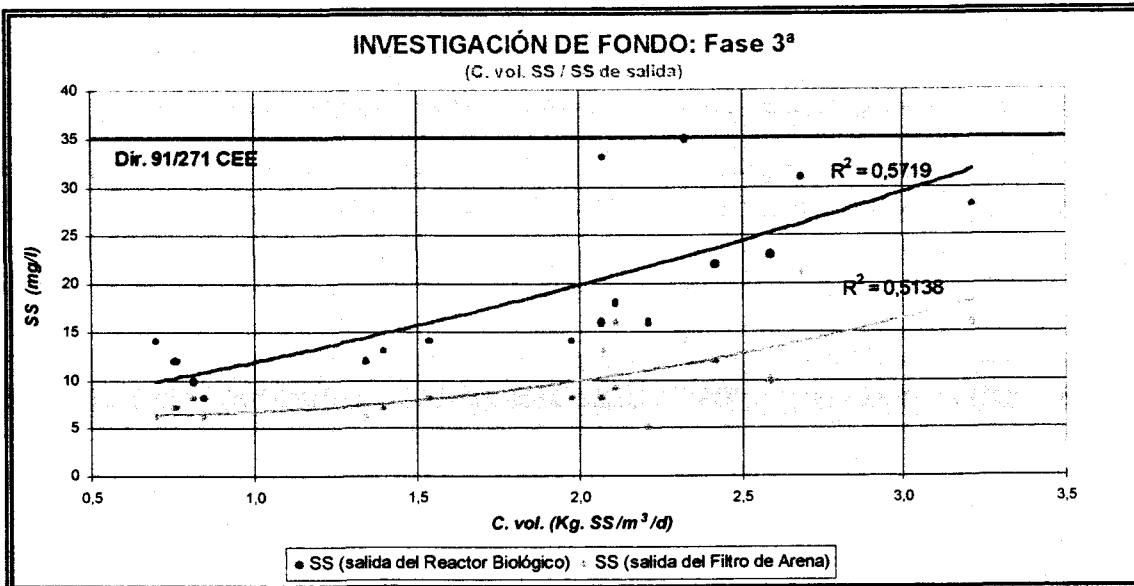


Gráfico 10.34

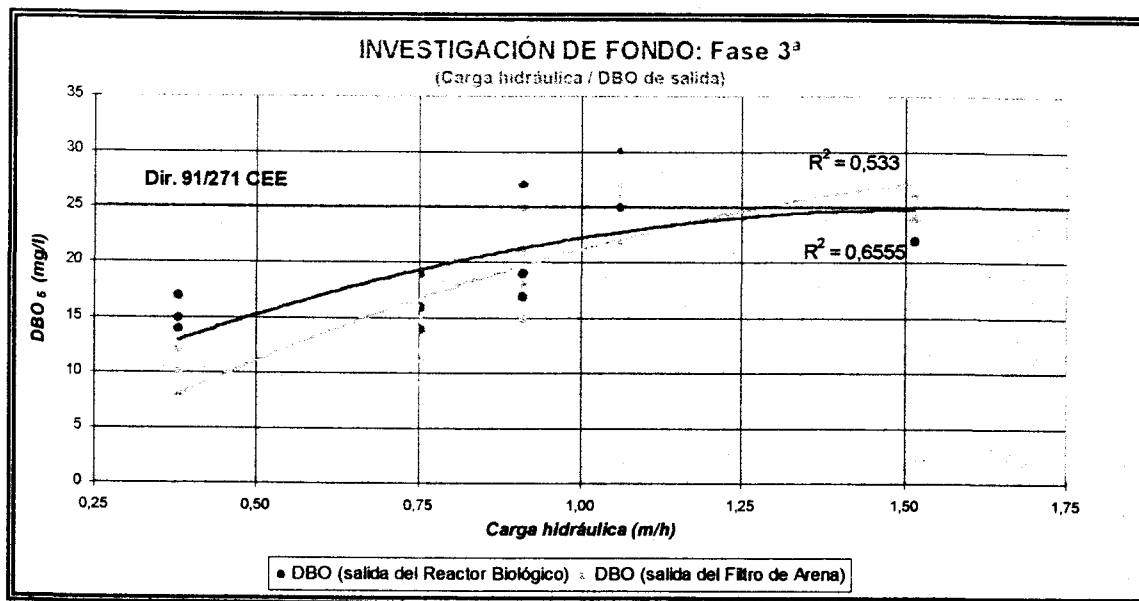


Gráfico 10.35

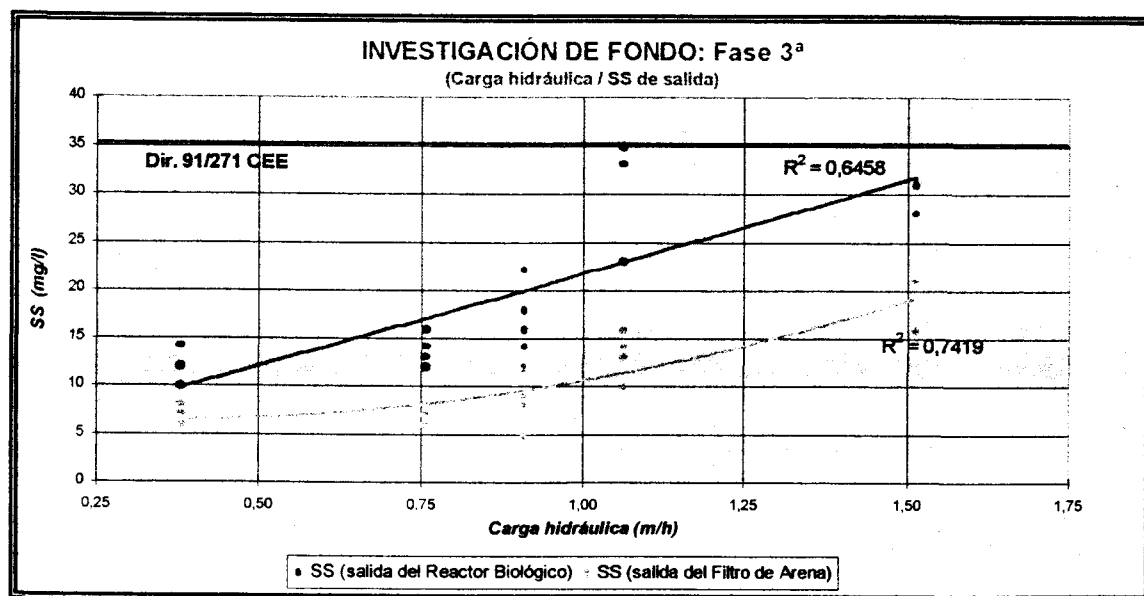


Gráfico 10.36

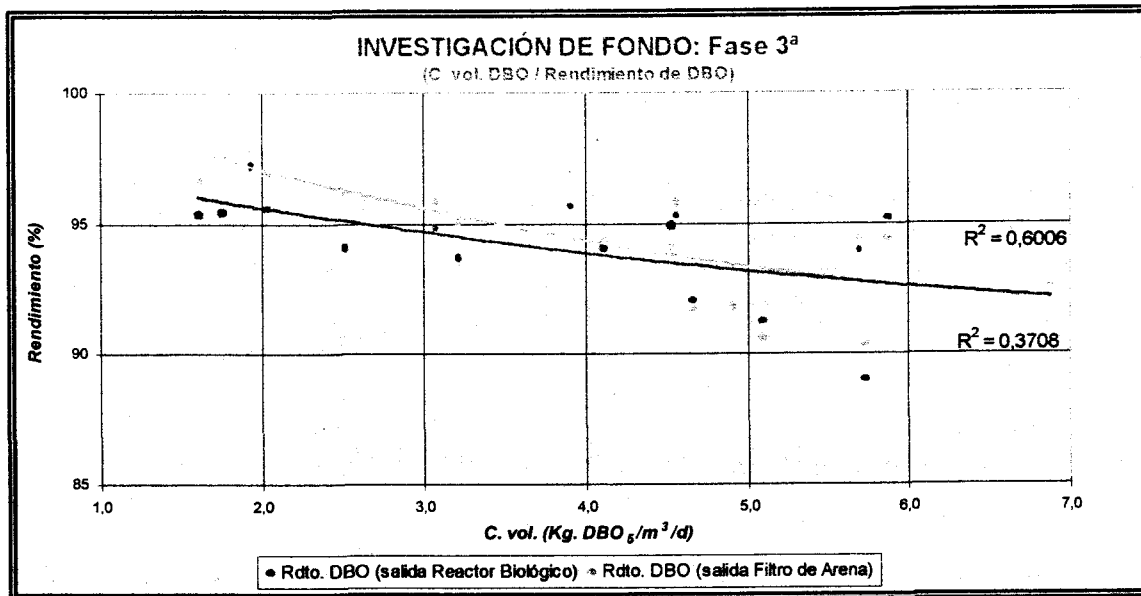


Gráfico 10.37

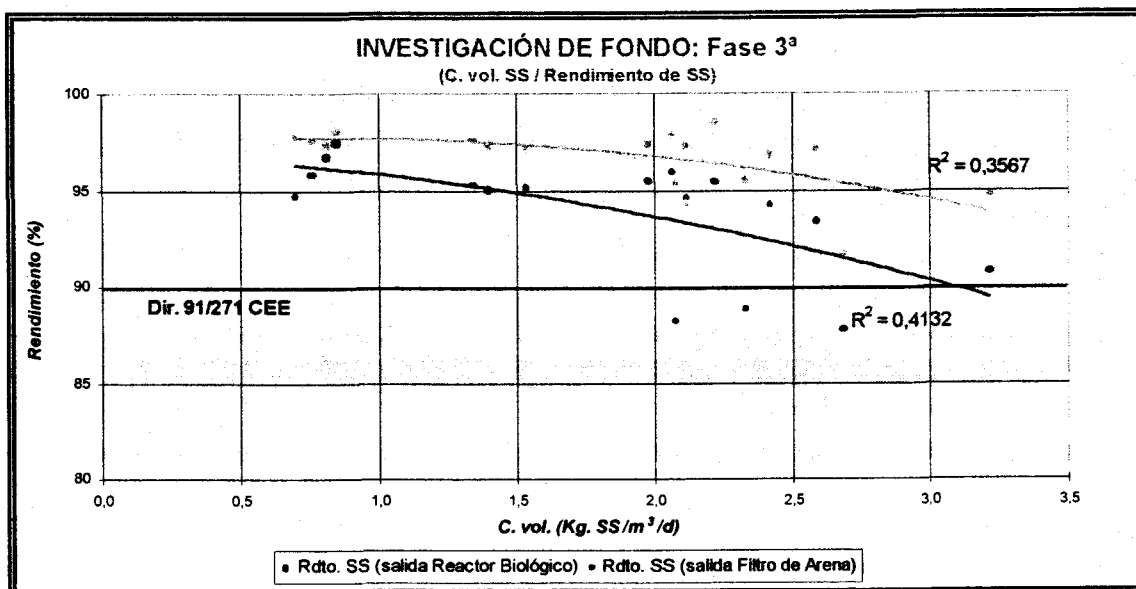


Gráfico 10.38

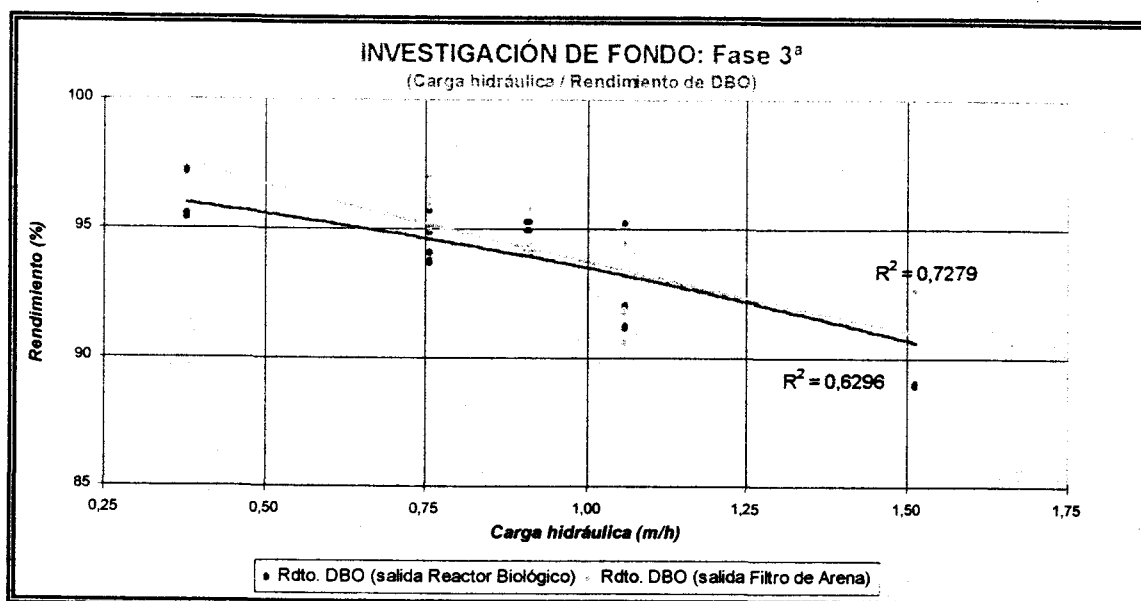


Gráfico 10.39

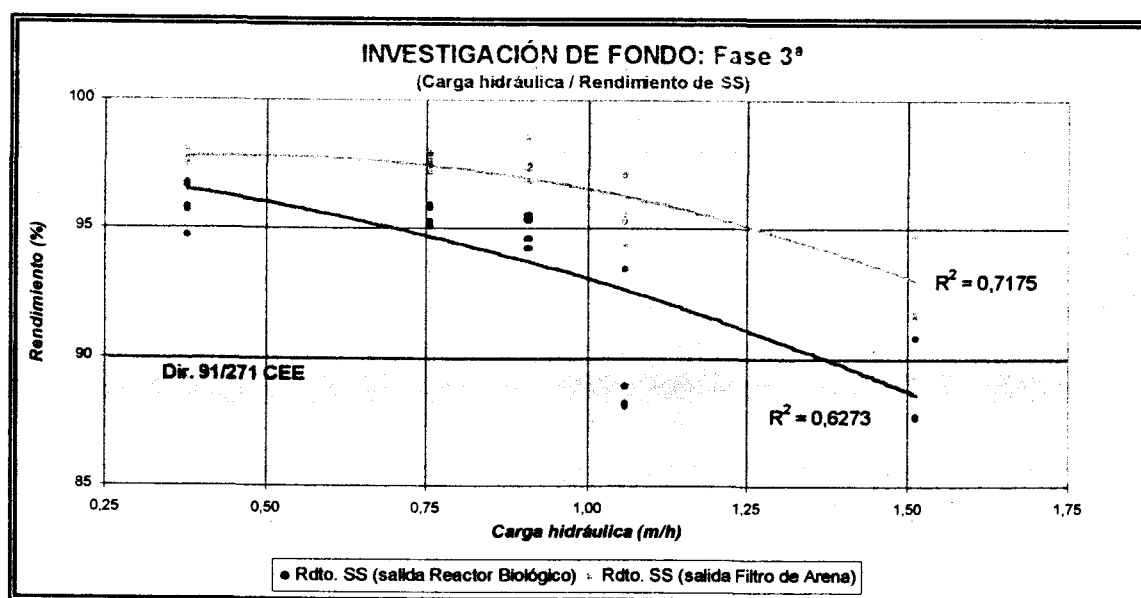


Gráfico 10.40

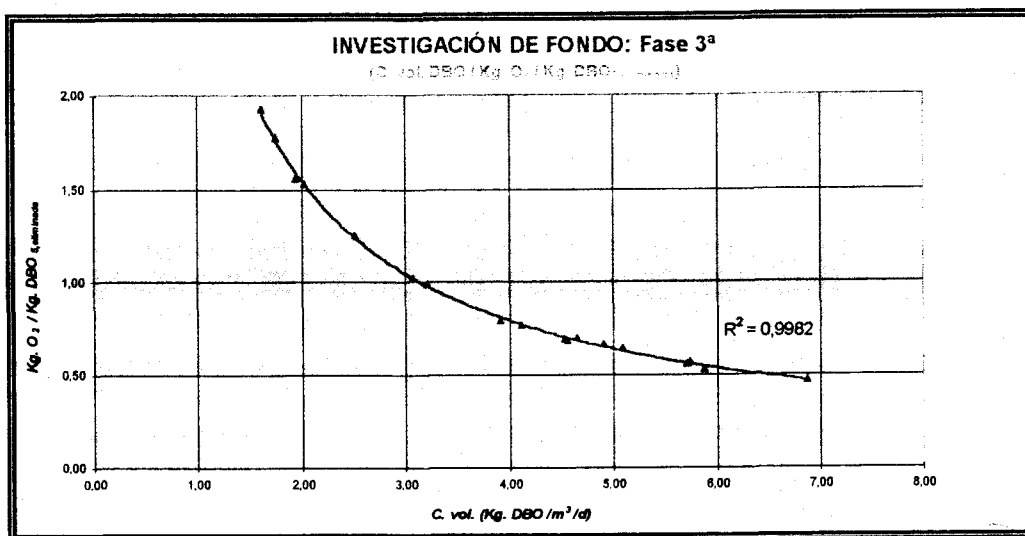
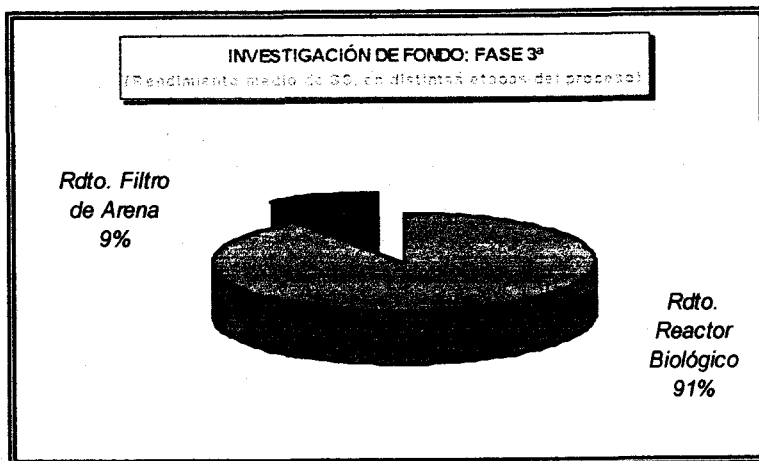


Gráfico 10.41, 10.42, 10.43

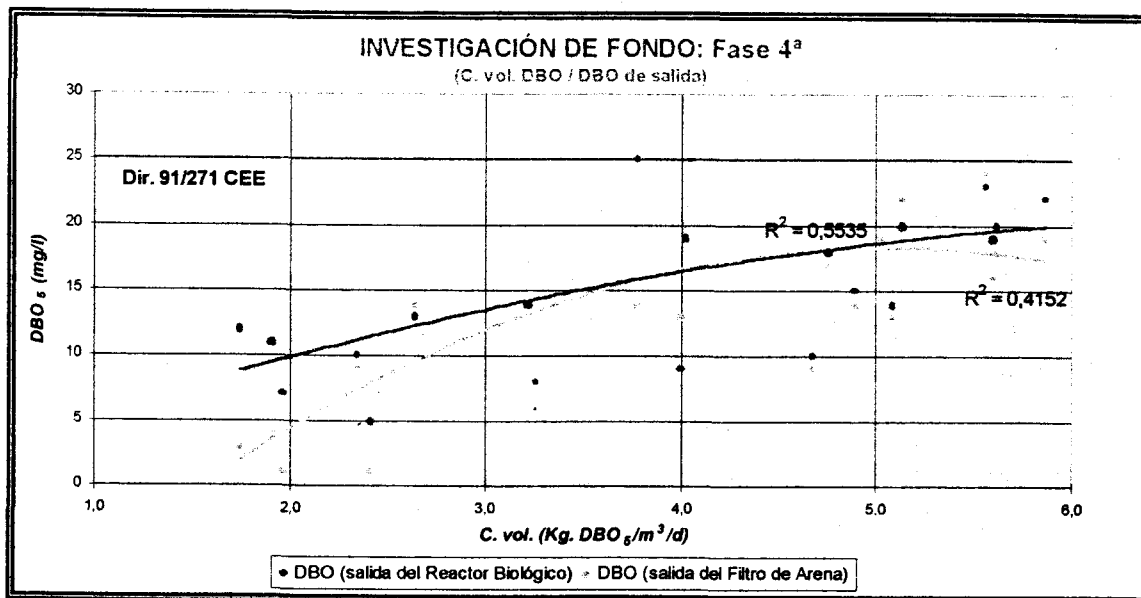


Gráfico 10.44

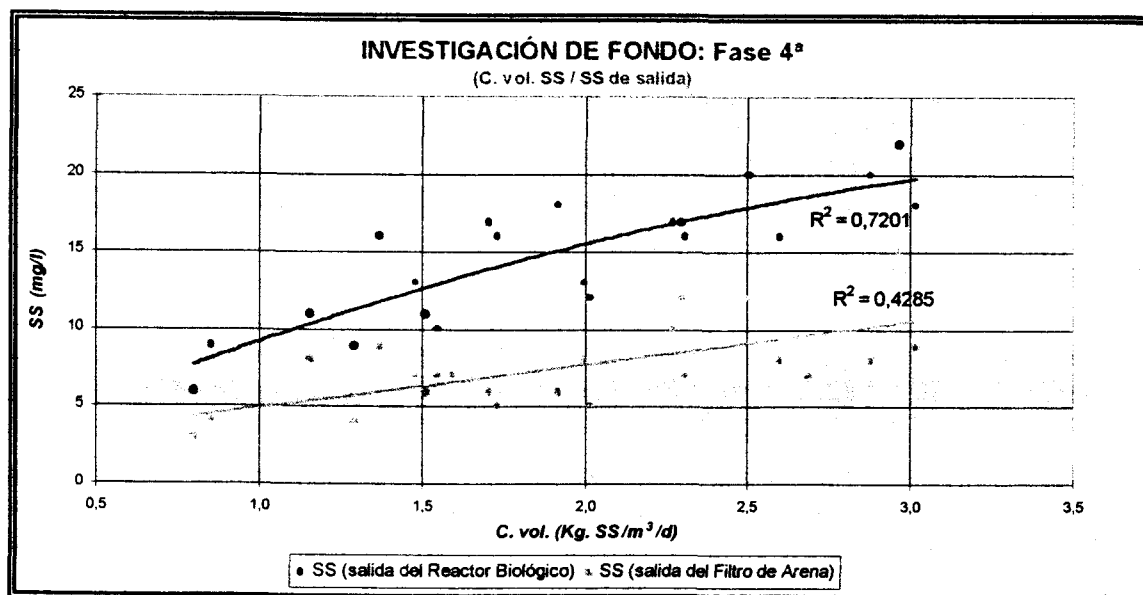


Gráfico 10.45

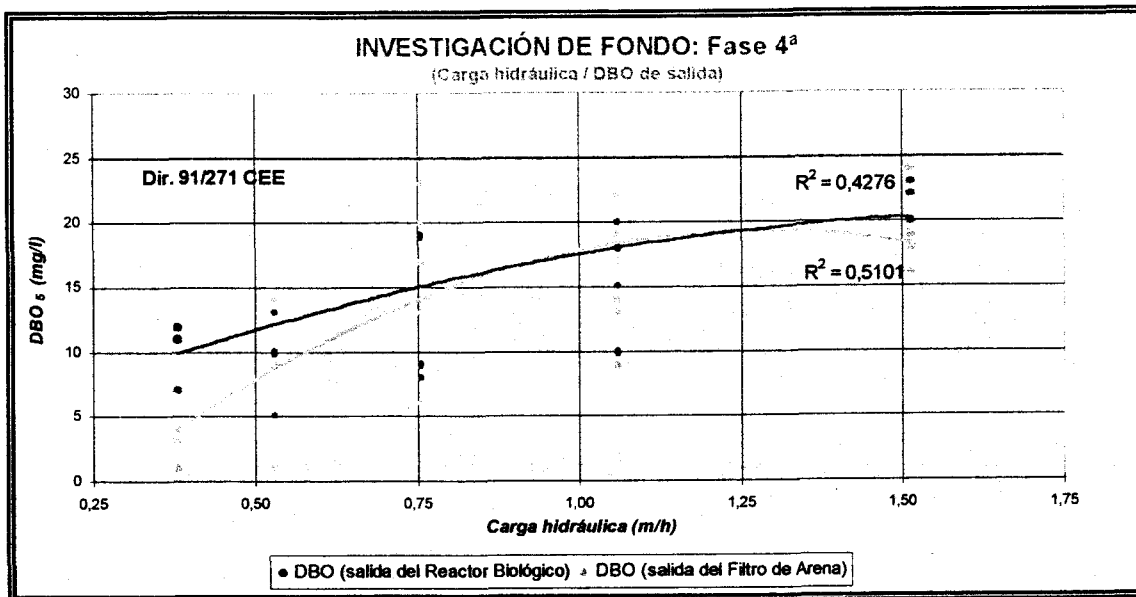


Gráfico 10.46

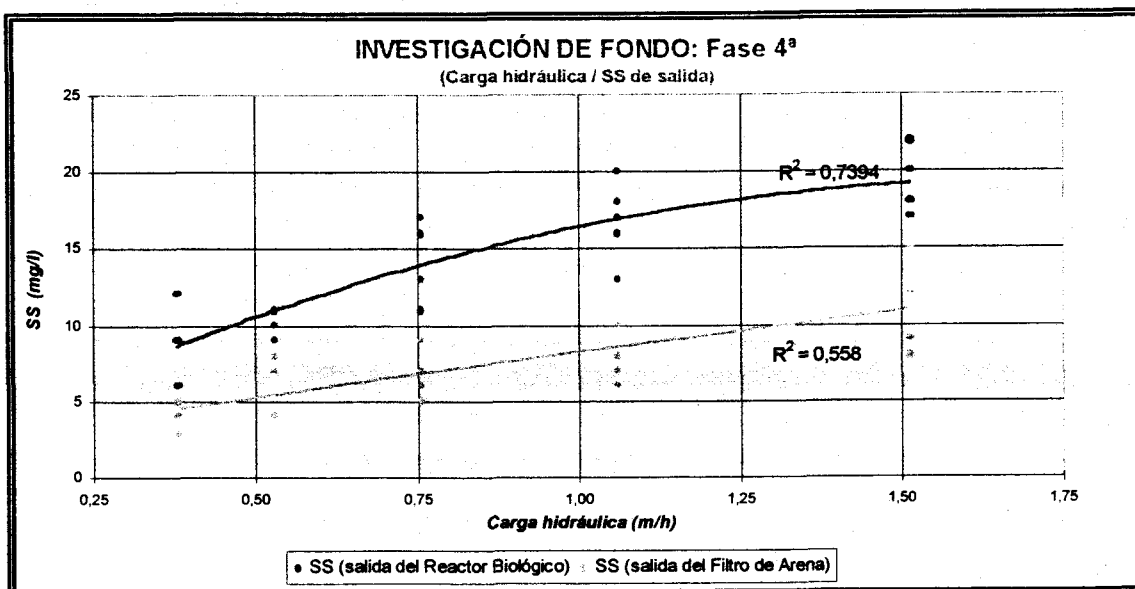


Gráfico 10.47

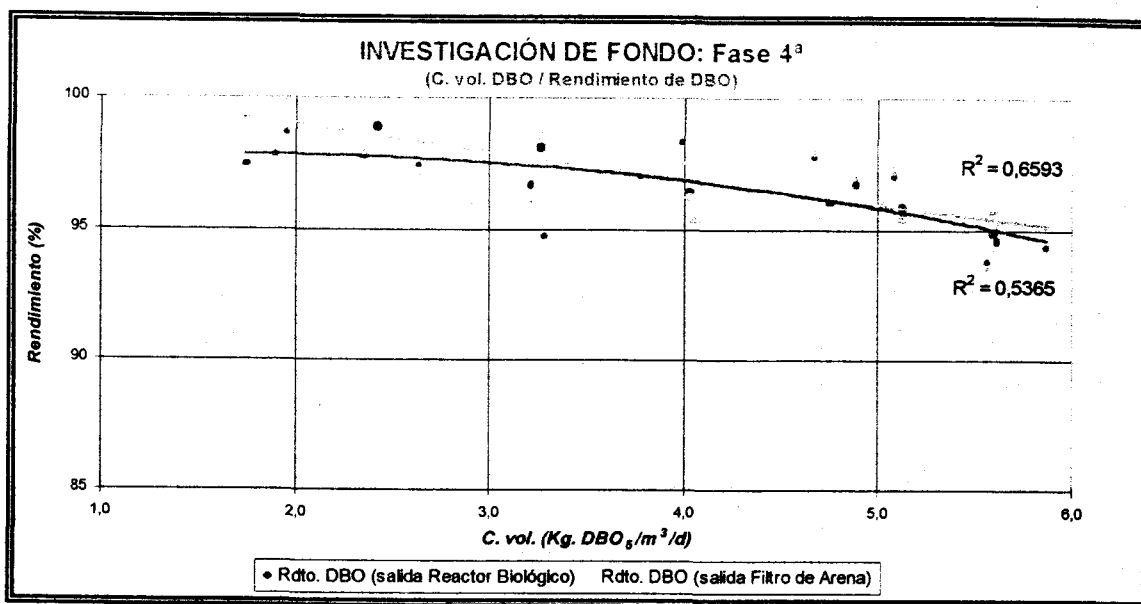


Gráfico 10.48

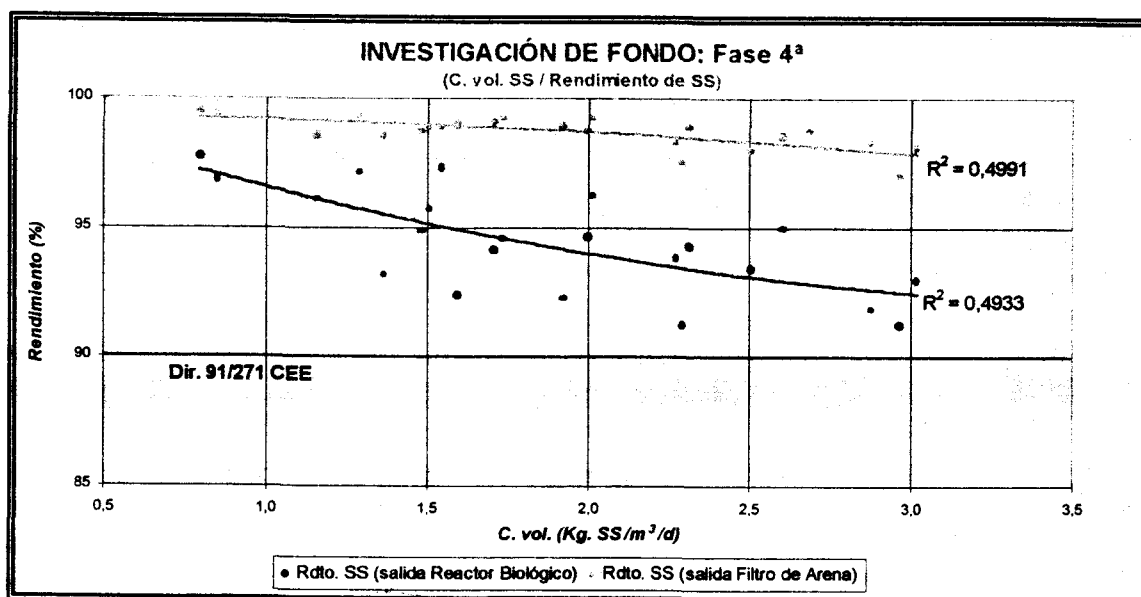


Gráfico 10.49

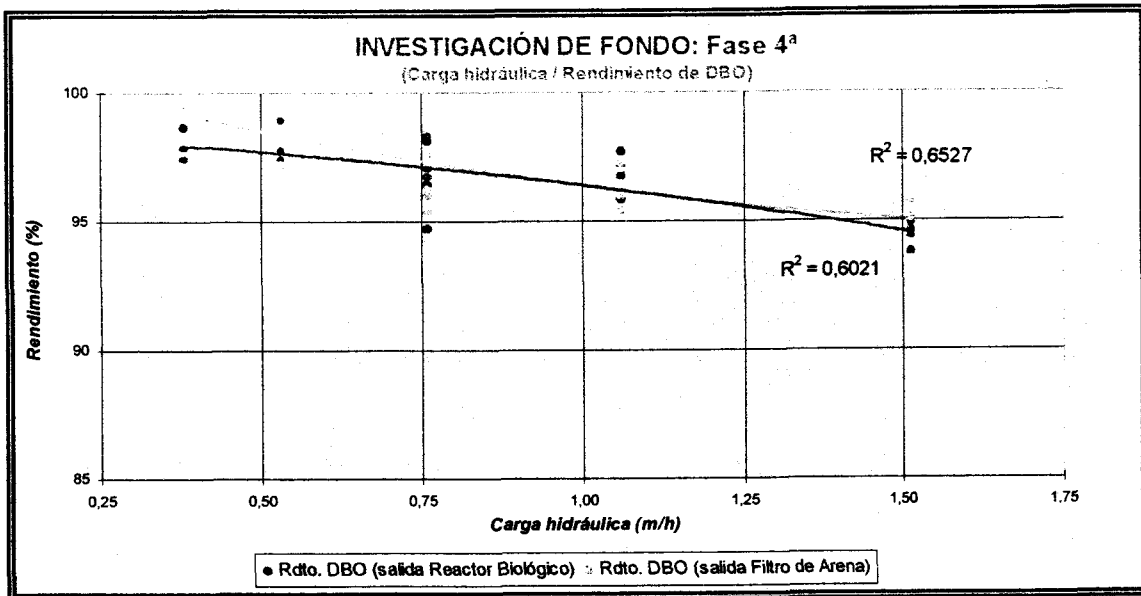


Gráfico 10.50

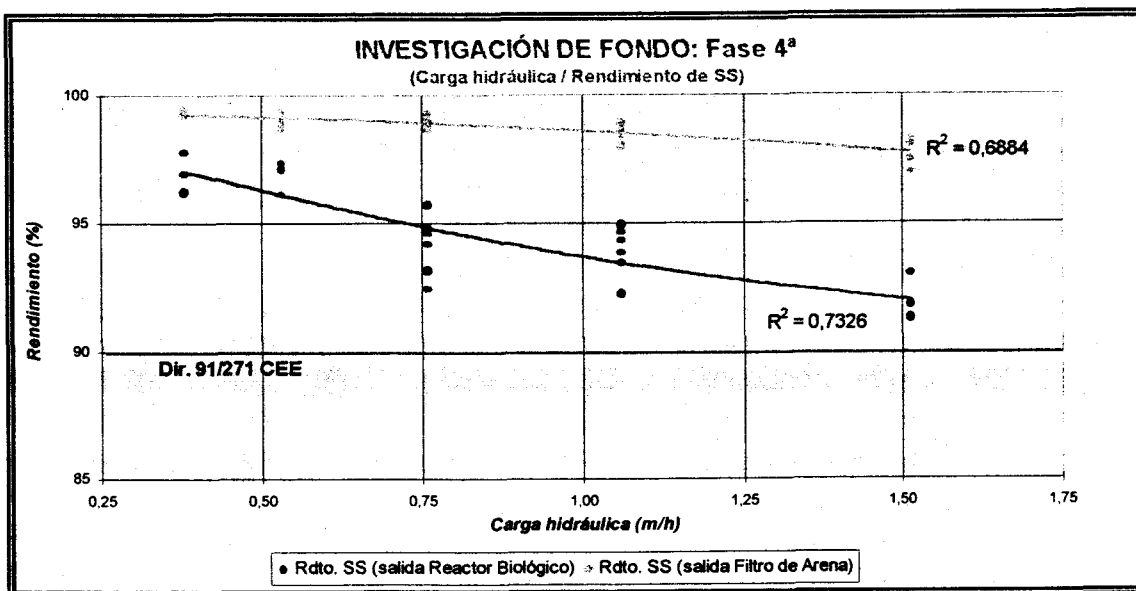


Gráfico 10.51

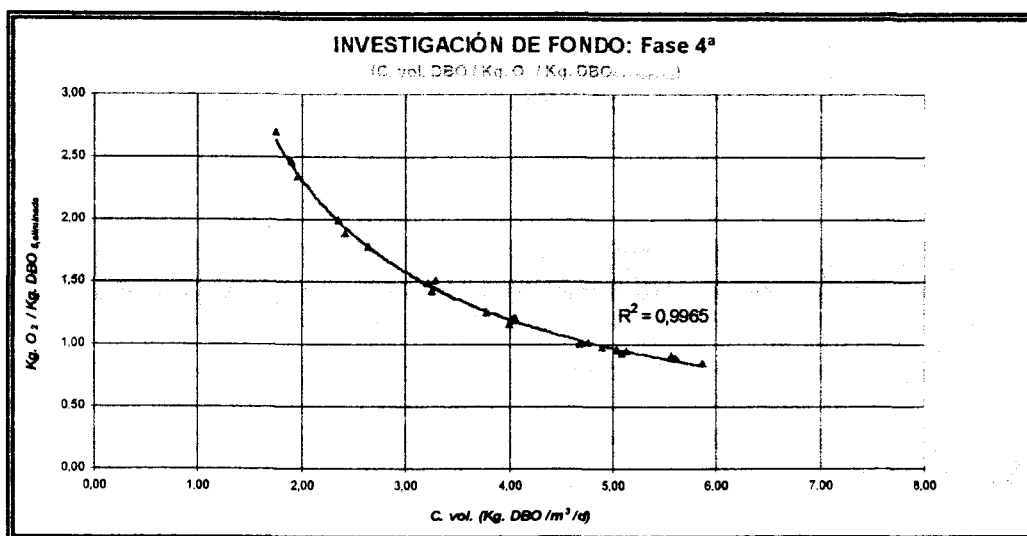
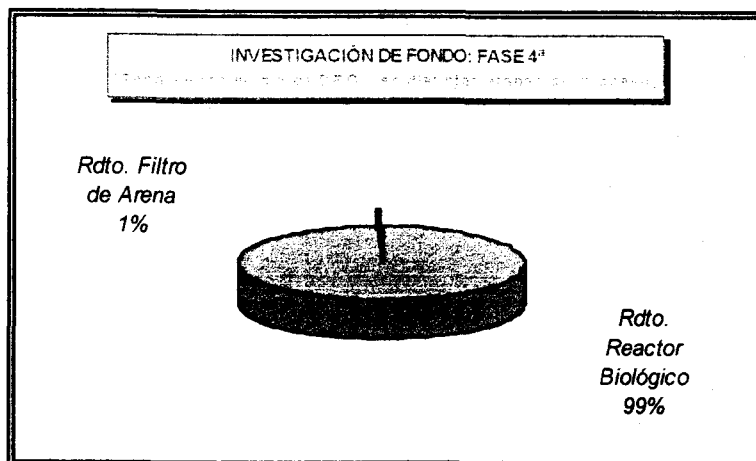


Gráfico 10.52, 10.53, 10.54

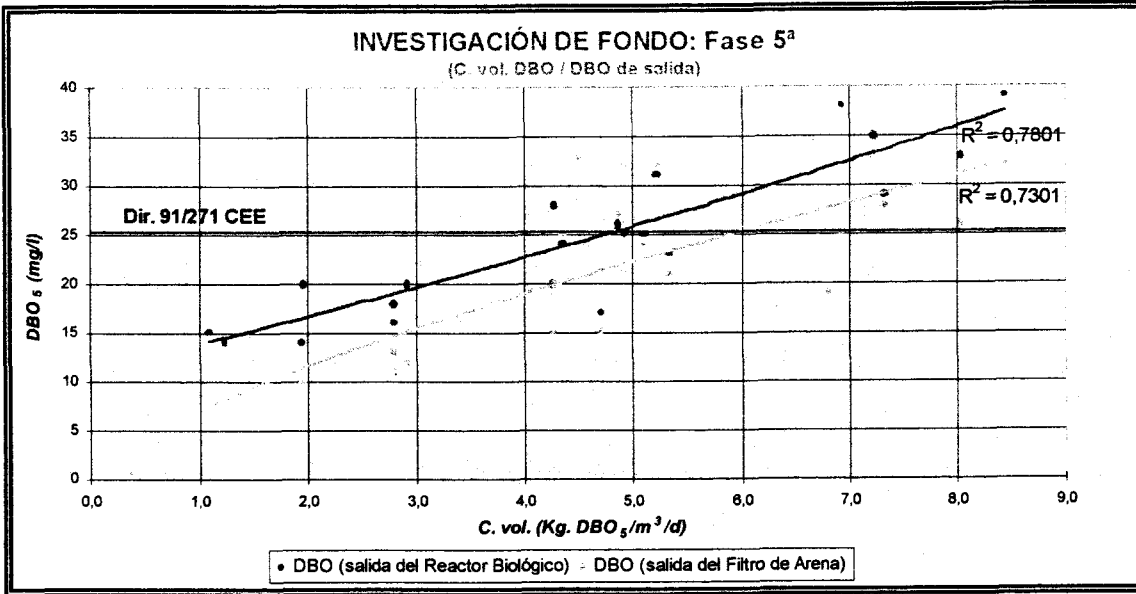


Gráfico 10.55

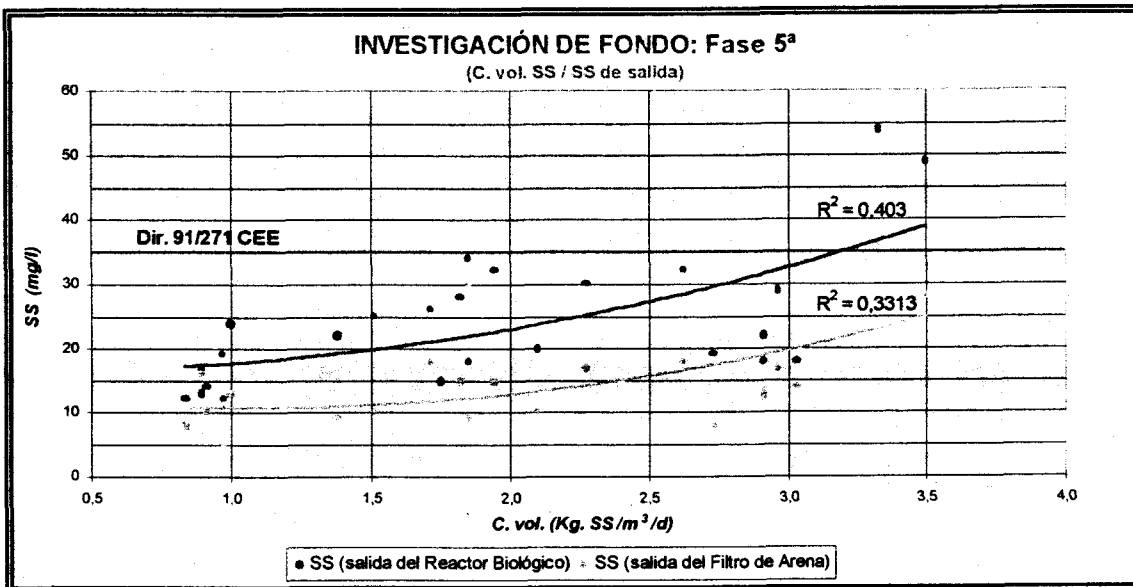


Gráfico 10.56

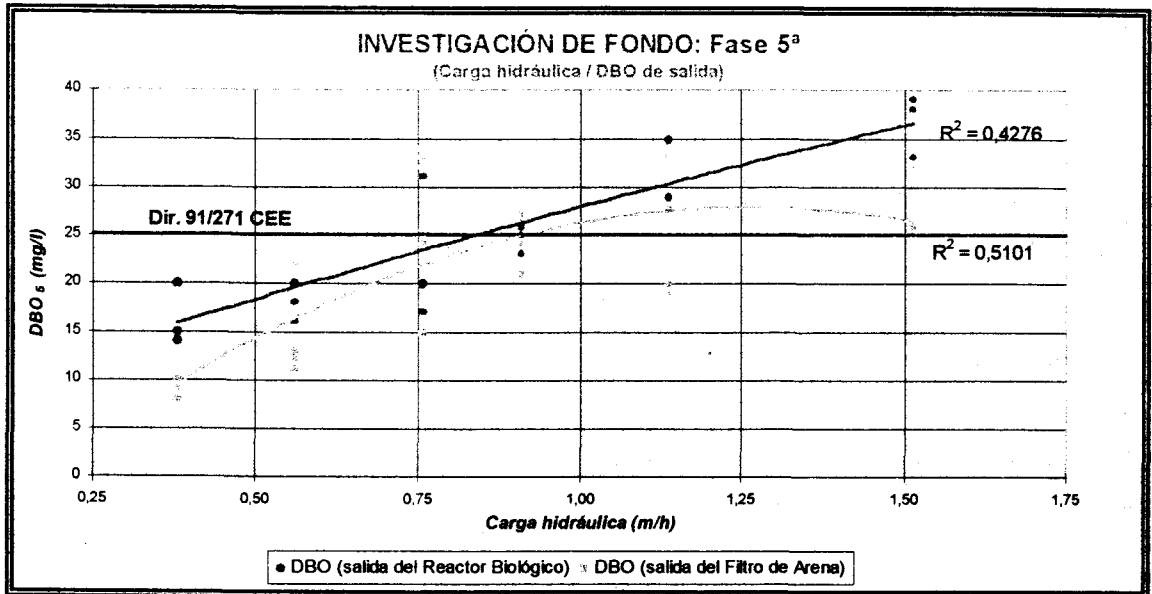


Gráfico 10.57

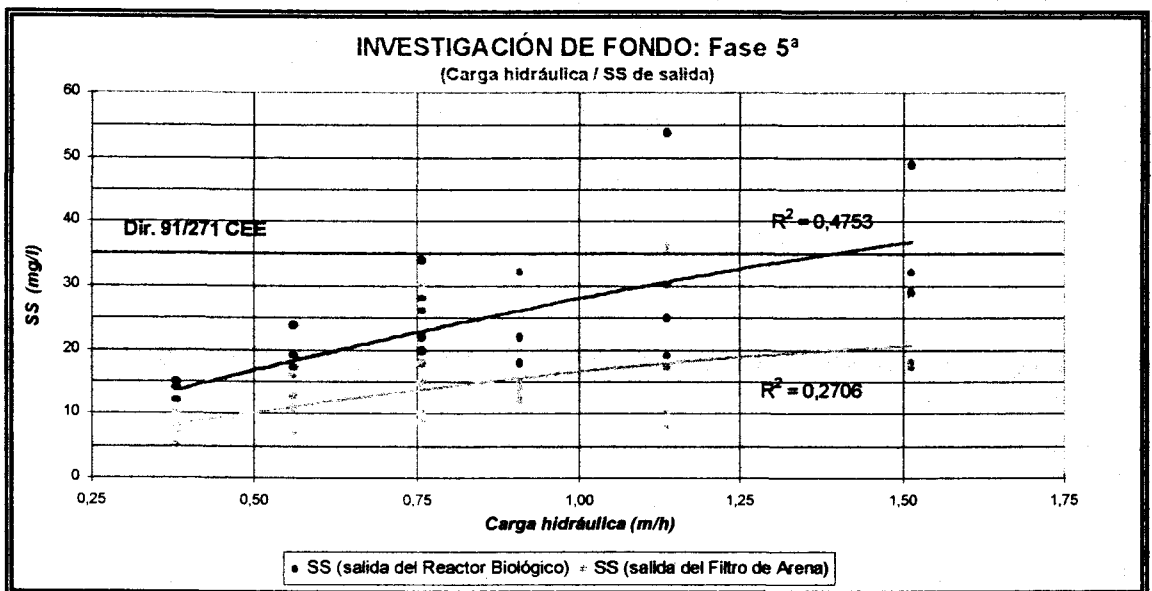


Gráfico 10.58

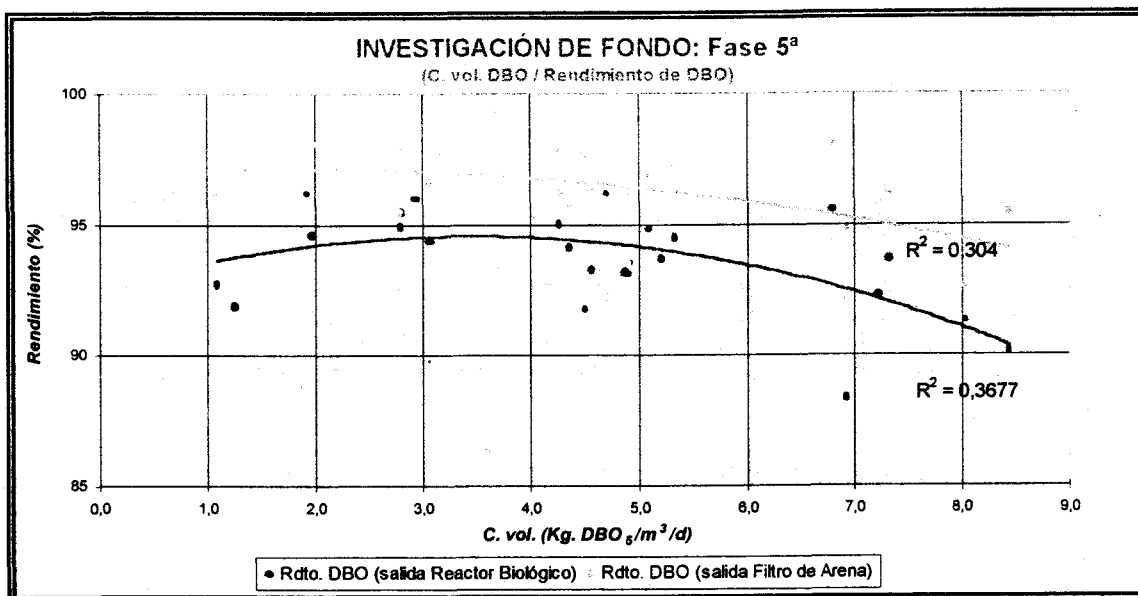


Gráfico 10.59

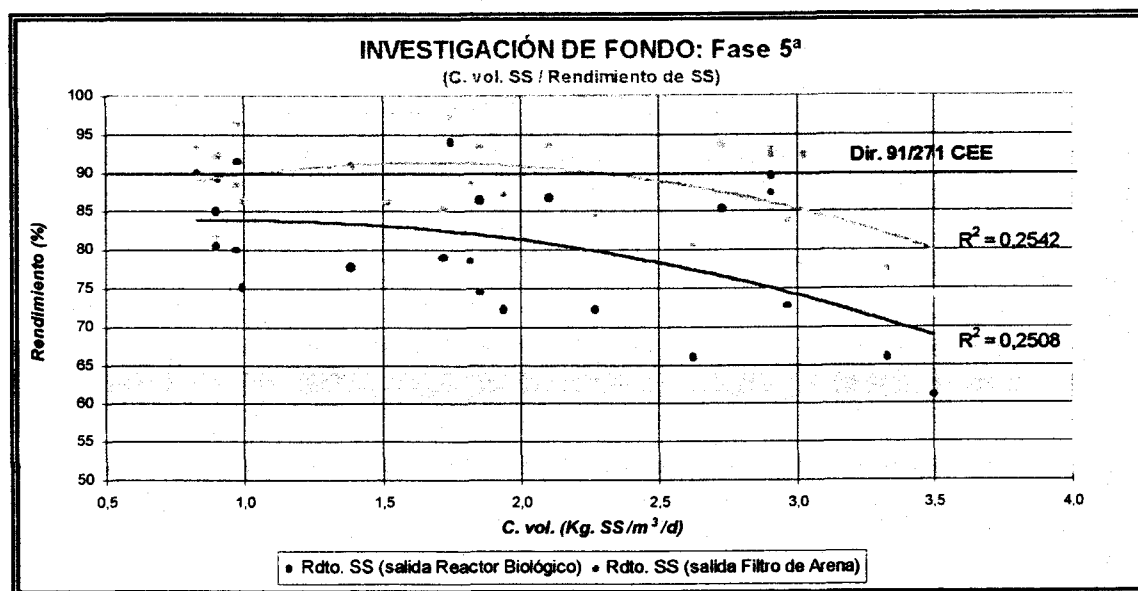


Gráfico 10.60

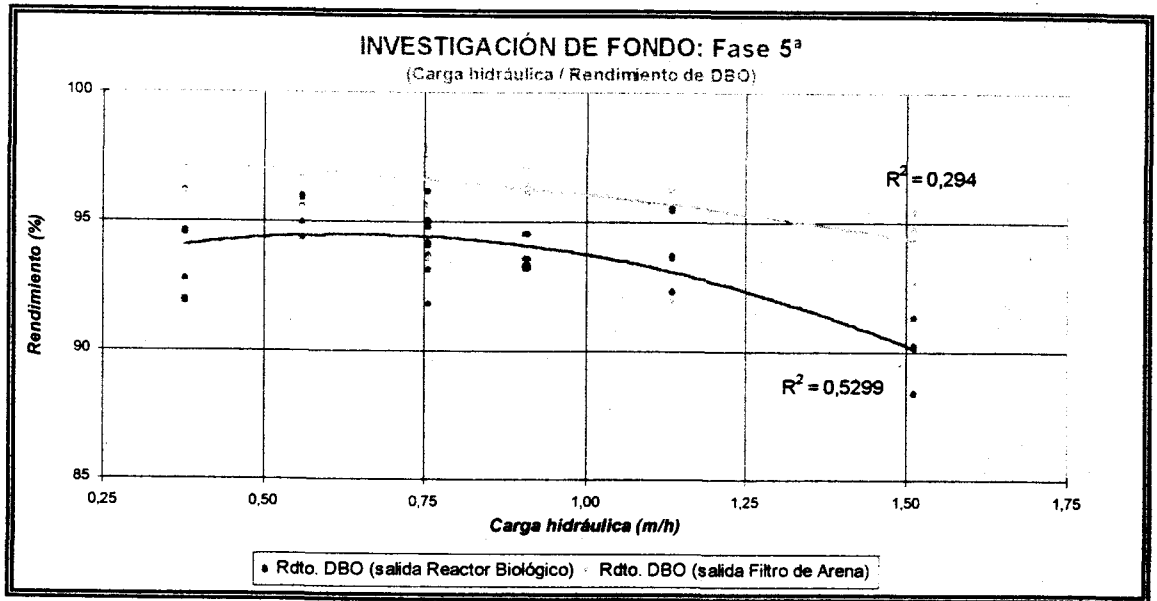


Gráfico 10.61

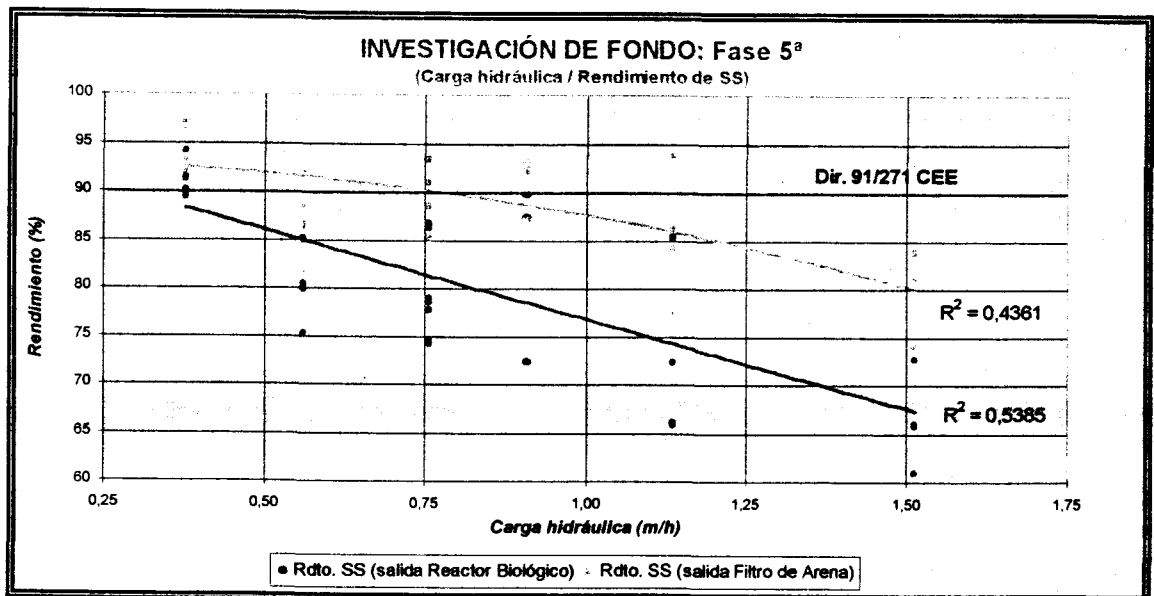


Gráfico 10.62

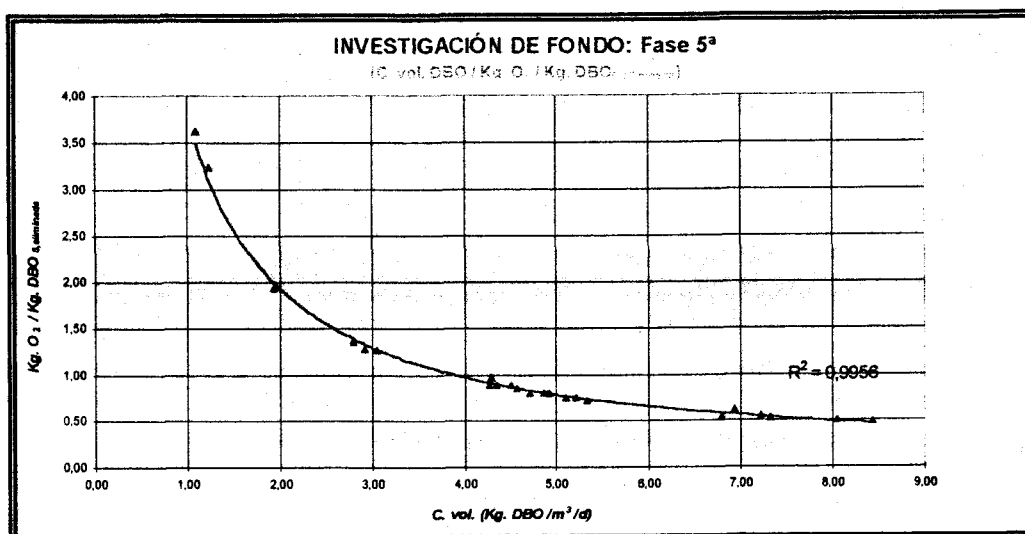
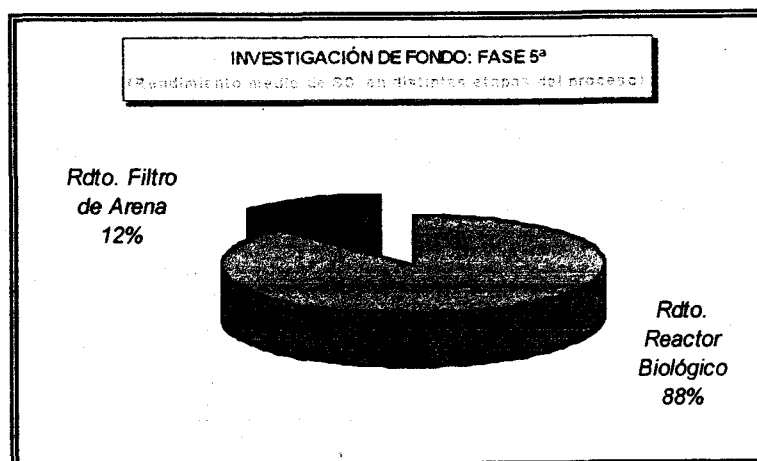
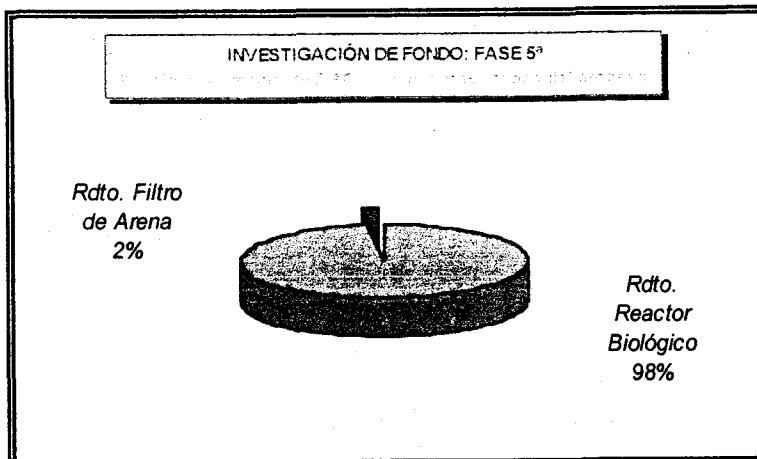


Gráfico 10.63, 10.64, 10.65

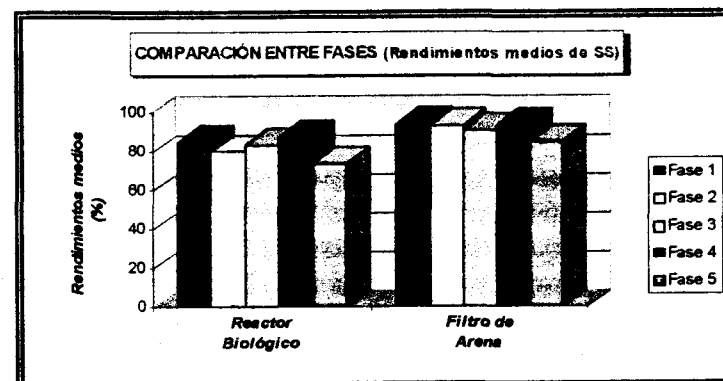
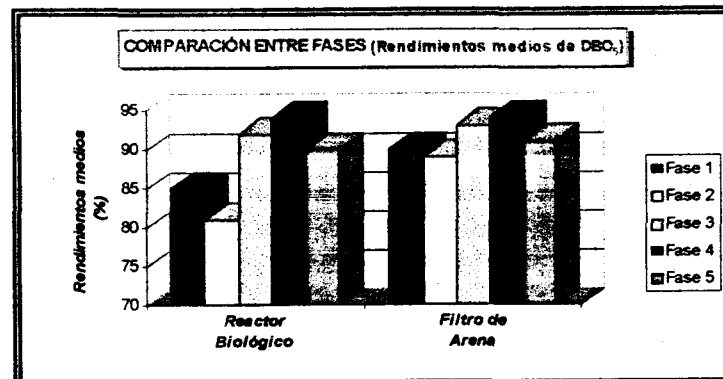
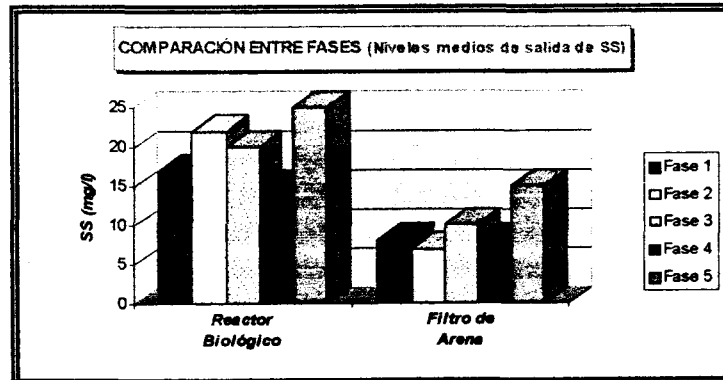
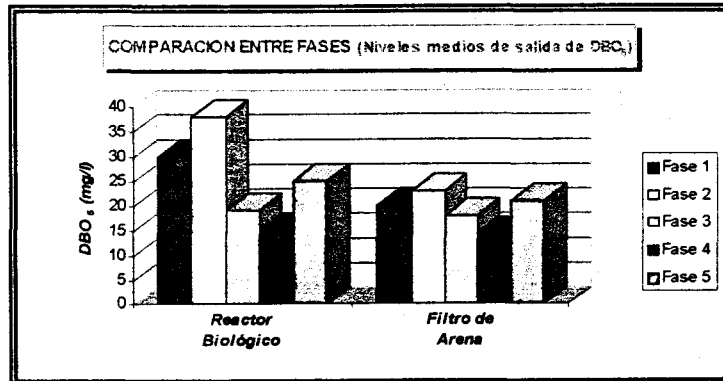


Gráfico 10.66, 10.67, 10.68, 10.69

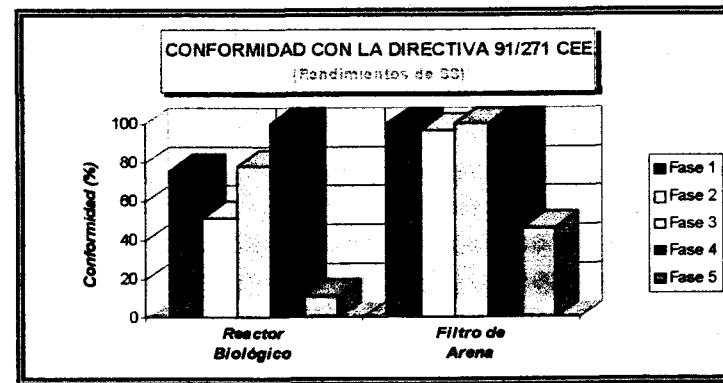
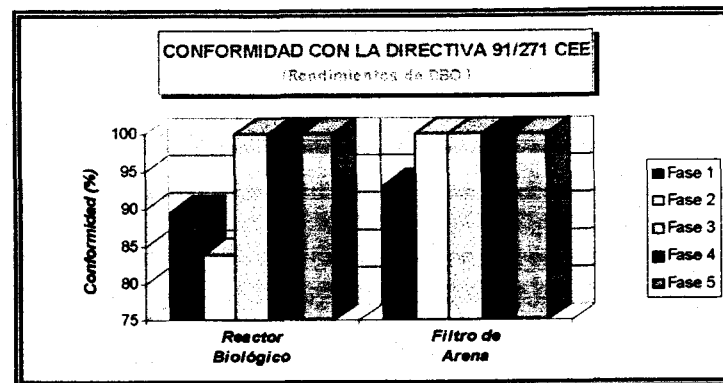
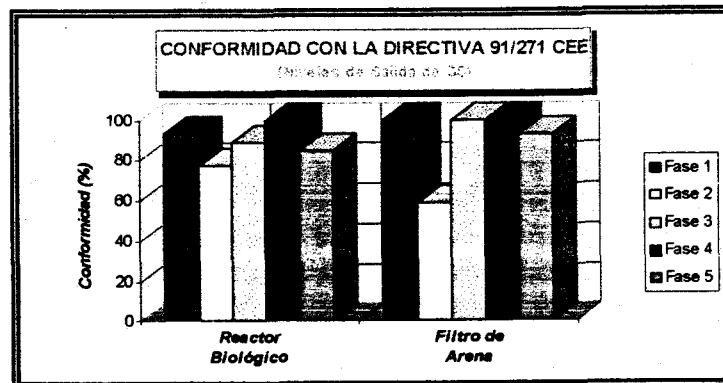
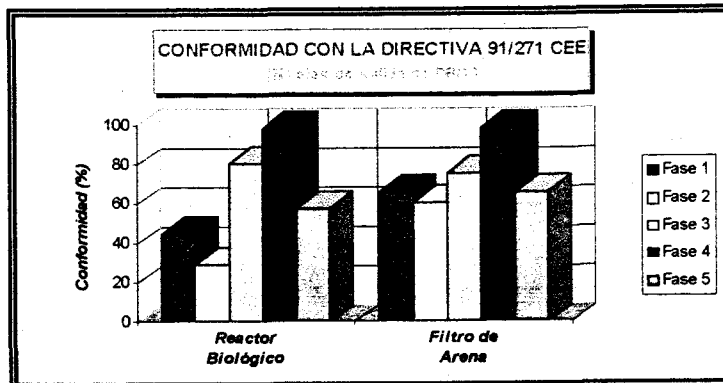


Gráfico 10.70, 10.71, 10.72, 10.73

11.- ANÁLISIS MULTIVARIANTE (ANOVA)

Los análisis comparativos que se han llevado a cabo son los siguientes:

- 1ª Estudio para Qaire = 0,2 Kg. O₂/ hora y DBO_AT1
- 2ª Estudio para Qaire = 0,7 Kg. O₂/ hora y DBO_AT1
- 3ª Estudio para Qaire = 0,7 Kg. O₂/ hora y SS_AT1
- 4ª Estudio para Qaire = 0,2 Kg. O₂/ hora y SS_AT1
- 5ª Estudio para Relleno Cerámico (H = 1,5 metros) y SS_AT1
- 6ª Estudio para Relleno Cerámico (H = 1,2 metros) y SS_AT1
- 7ª Estudio para Relleno Cerámico (H = 0,8 metros) y SS_AT1
- 8ª Estudio para Relleno Doble Capa (flujo contra-corriente) y SS_AT1
- 9ª Estudio para Relleno Cerámico (H = 1,5 metros) y DBO_AT1
- 10ª Estudio para Relleno Cerámico (H = 1,2 metros) y DBO_AT1
- 11ª Estudio para Relleno Cerámico (H = 0,8 metros) y DBO_AT1
- 12ª Estudio para Relleno Doble Capa (flujo contra-corriente) y DBO_AT1

13ª Estudio para Filtro de Arena, SS_AT2 y distintas alturas de relleno

14ª Estudio para Filtro de Arena, SS_AT2 y variable aireación en el Reactor Biológico

15ª Estudio para Filtro de Arena, DBO_AT2 y distintas alturas de relleno

16ª Estudio para Filtro de Arena, DBO_AT2 y variable aireación en el Reactor Biológico

1ª Estudio para Qaire = 0,2 Kg. O₂ / hora y DBO_AT1

✓ Variable dependiente: DBO_AT1 (a la salida del Reactor Biológico)

✓ Factor. Tipo de relleno en el Reactor Biológico

DC = Doble Capa (flujo contra-corriente)

0,8 = Relleno Cerámico (altura de 0,8 metros)

1,2 = Relleno Cerámico (altura de 1,2 metros).

1,5 = Relleno Cerámico (altura de 1,5 metros)

✓ Covariables: C. vol.DBO_RB (Carga volumétrica de DBO aplicada al Reactor Biológico)

✓ Número de casos: 100

1.a) Análisis de la varianza para DBO_AT1:

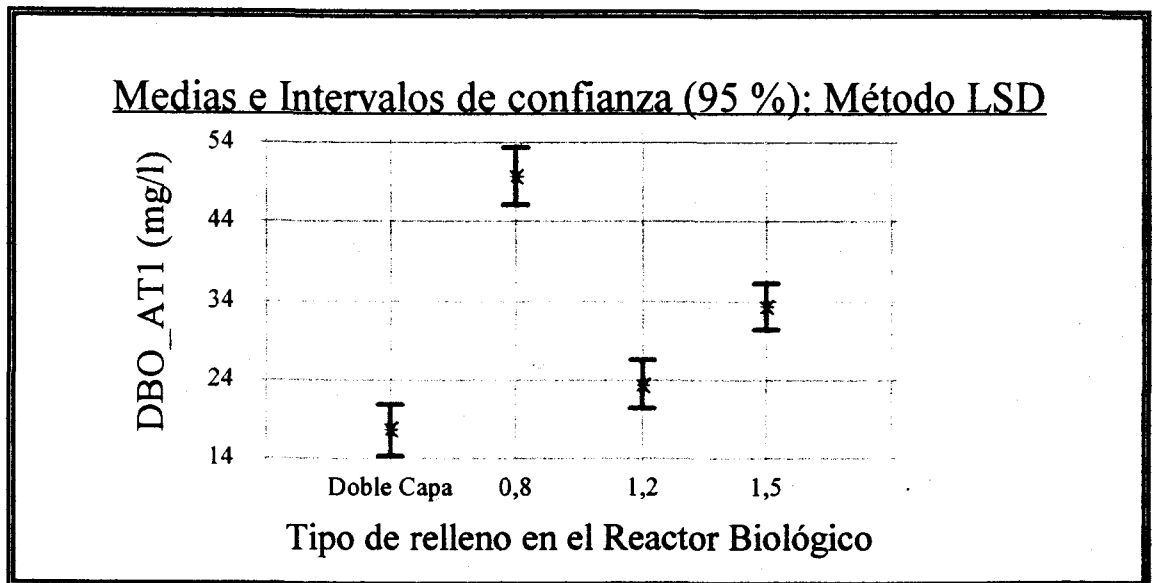
Fuente	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	F-Snedecor	P-valor
Covariable: Cvol.DBO_RB	12990,9	1	12990,9	99,28	0,0000
Efectos principales: Tipo de RB	12637,3	3	4212,44	32,19	0,0000
Residual	12431,0	95	130,853		

<u>Fuente</u>	<u>Suma de cuadrados</u>	<u>G.L.</u>	<u>Cuadrado medio</u>	<u>F-Snedecor</u>	<u>P-valor</u>
Total (corregido)	38448,8	99			

1.b) Resultados del contraste:

<u>Tipo de relleno</u>	<u>Diferencias entre las medias LS</u>
DC - 0,8	*-32,2983
DC - 1,2	-5,81048
DC - 1,5	*-15,7368
0,8 - 1,2	*26,4878
0,8 - 1,5	*16,5615
1,2 - 1,5	*-9,92634

* denota una diferencia estadísticamente significativa.



2.ª) Estudio para Qaire = 0,7 Kg. O₂ / hora y DBO_AT1

✓ Variable dependiente: DBO_AT1 (a la salida del Reactor Biológico)

✓ Factor: Tipo de relleno en el Reactor Biológico

0,8 = Relleno Cerámico (altura de 0,8 metros)

1,2 = Relleno Cerámico (altura de 1,2 metros).

1,5 = Relleno Cerámico (altura de 1,5 metros)

✓ Covariables: C. vol.DBO_RB (Carga volumétrica de DBO aplicada al Reactor Biológico)

✓ Número de casos: 72

2.a) Análisis de la varianza para DBO_AT1:

Fuente	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	F-Snedecor	P-valor
Covariable: Cvol.DBO_RB	18813,3	1	18813,3	130,08	0,0000
Efectos principales: Tipo de RB	1073,43	2	536,714	3,71	0,0295
Residual	9834,93	68	144,631		
Total (corregido)	28977,0	71			

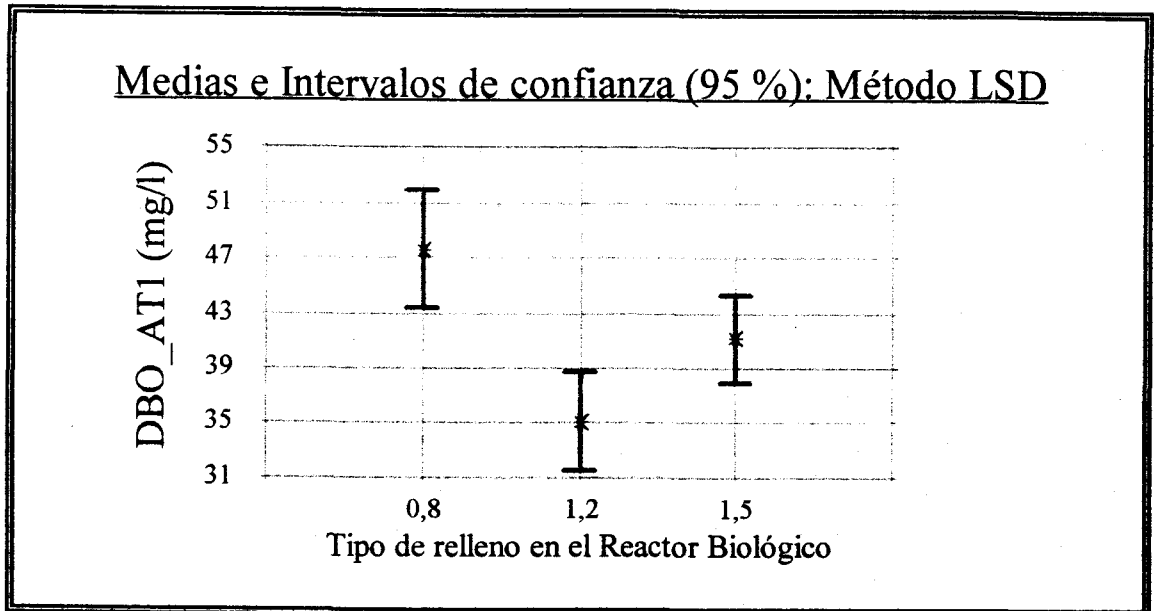
2.b) Resultados del contraste:

<u>Tipo de relleno</u>	<u>Diferencias entre las medias LS</u>
0,8 - 1,2	*10,3472
0,8 - 1,5	4,52635

1,2 - 1,5

-5,82088

* denota una diferencia estadísticamente significativa.



3ª Estudio para Qaire = 0,7 Kg. O₂ / hora y SS_AT1

✓ Variable dependiente: SS_AT1 (a la salida del Reactor Biológico)

✓ Factor: Tipo de relleno en el Reactor Biológico

0,8 = Relleno Cerámico (altura de 0,8 metros)

1,2 = Relleno Cerámico (altura de 1,2 metros).

1,5 = Relleno Cerámico (altura de 1,5 metros)

✓ Covariables: C. vol.SS_RB (Carga volumétrica de SS aplicada al Reactor Biológico)

✓ Número de casos: 72

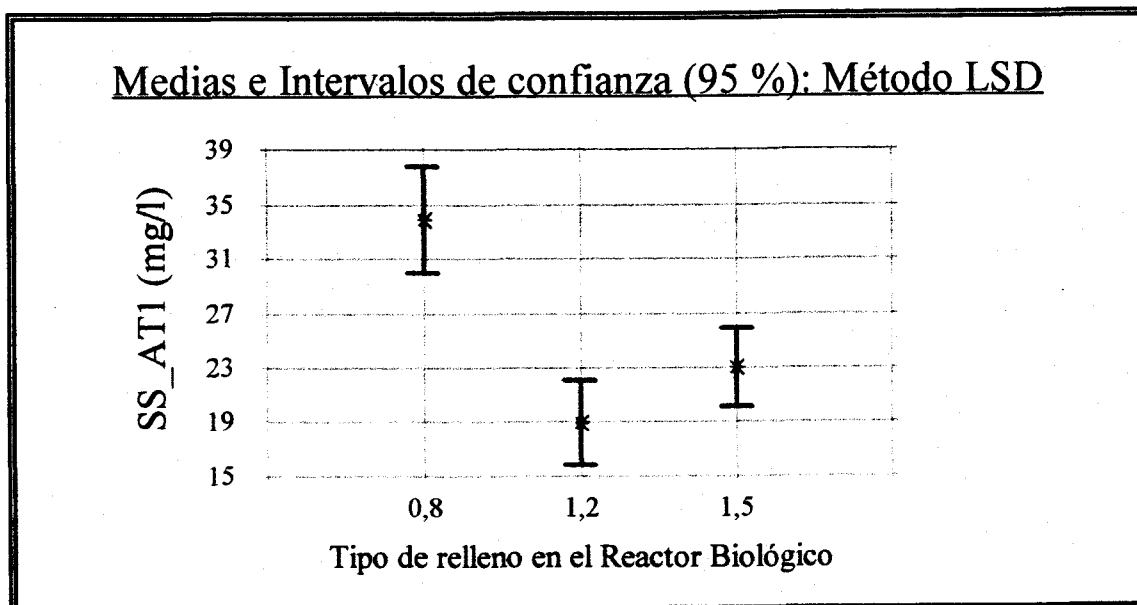
3.a) Análisis de la varianza para SS_AT1:

Fuente	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	F-Snedecor	P-valor
<i>Covariable: Cvol.SS_RB</i>	9101,41	1	9101,41	73,49	0,0000
<i>Efectos principales: Tipo de RB</i>	2222,82	2	1111,41	8,97	0,0003
<i>Residual</i>	8421,94	68	123,852		
<i>Total (corregido)</i>	20345,0	71			

3.b) Resultados del contraste:

<u>Tipo de relleno</u>	<u>Diferencias entre las medias LS</u>
0,8 - 1,2	*14,9292
0,8 - 1,5	*10,8684
1,2 - 1,5	-4,06086

* denota una diferencia estadísticamente significativa.



4.º Estudio para Qaire = 0,2 Kg. O₂ / hora y SS_AT1

✓ Variable dependiente: SS_AT1 (a la salida del Reactor Biológico)

✓ Factor: Tipo de relleno en el Reactor Biológico

DC = Doble capa (flujo contra-corriente)

0,8 = Relleno Cerámico (altura de 0,8 metros)

1,2 = Relleno Cerámico (altura de 1,2 metros).

1,5 = Relleno Cerámico (altura de 1,5 metros)

✓ Covariables: C. vol.SS_RB (Carga volumétrica de SS aplicada al Reactor Biológico)

✓ Número de casos: 100

4.a) Análisis de la varianza para SS_AT1:

Fuente	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	F-Snedecor	P-valor
Covariable: Cvol.SS_RB	7701,41	1	7701,41	161,68	0,0000
Efectos principales: Tipo de RB	2197,96	3	732,655	15,38	0,0000
Residual	4525,2	95	47,6337		
Total (corregido)	15547,0	99			

4.b) Resultados del contraste:

Tipo de relleno

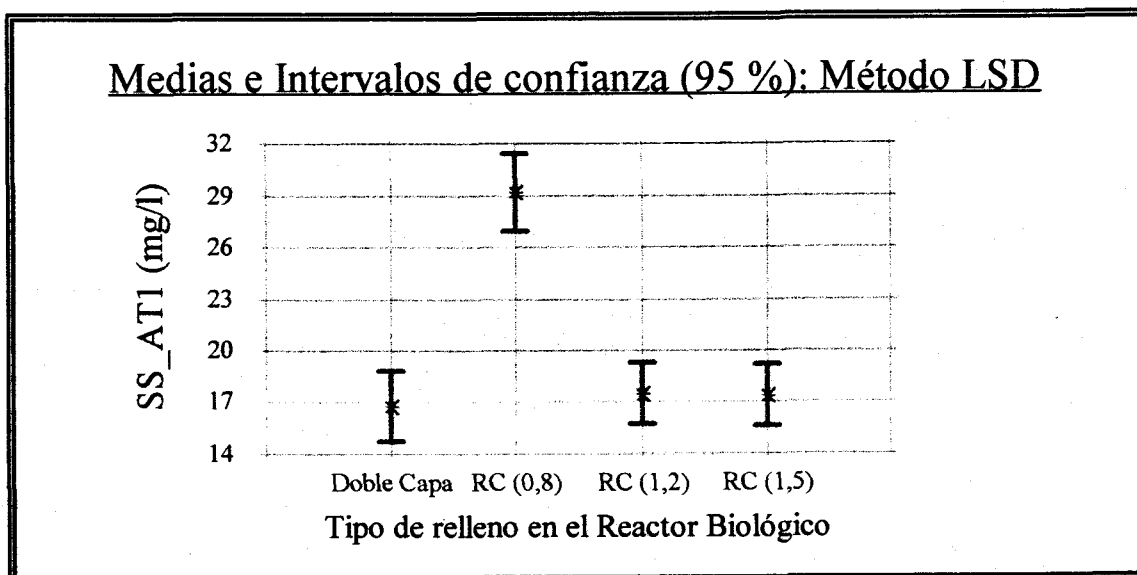
Diferencias entre las medias LS

DC - 0,8

*-12,4956

DC - 1,2	-0,729081
DC - 1,5	-0,652968
0,8 - 1,2	*11,7665
0,8 - 1,5	*11,8426
1,2 - 1,5	0,0761125

* denota una diferencia estadísticamente significativa.



5º Estudio para Relleno Cerámico (H = 1,5 metros) y SS_AT1

- ✓ Variable dependiente: SS_AT1 (a la salida del Reactor Biológico)
- ✓ Factor: Caudal de aire aplicado en el Reactor Biológico
0,2 y 0,7 Kg. O₂ / hora
- ✓ Covariables: C. vol.SS_RB (Carga volumétrica de SS aplicada al Reactor Biológico)
- ✓ Número de casos: 60

5.a) Análisis de la varianza para SS_AT1:

<u>Fuente</u>	<u>Suma de cuadrados</u>	<u>G.L.</u>	<u>Cuadrado medio</u>	<u>F-Snedecor</u>	<u>P-valor</u>
Covariable: Cvol.SS_RB	6042,04	1	6042,04	64,03	0,0000
Efectos principales: Caudal de aire	274,433	1	274,433	2,91	0,0936
Residual	5378,69	57	94,363		
Total (corregido)	11797,7	59			

5.b) Resultados del contraste:

Caudal de aire

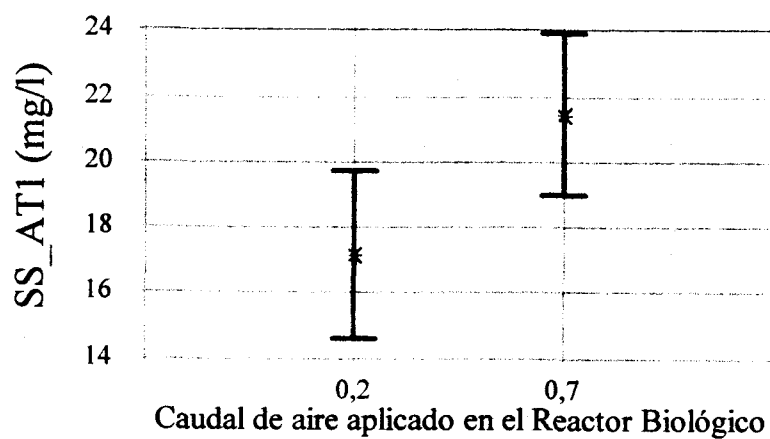
Diferencias entre las medias LS

0,2 - 0,7

-4,28255

* denota una diferencia estadísticamente significativa.

Medias e Intervalos de confianza (95 %): Método LSD



6.ª Estudio para Relleno Cerámico (H = 1,2 metros) y SS_AT1

✓ Variable dependiente: SS_AT1 (a la salida del Reactor Biológico)

✓ Factor: Caudal de aire aplicado en el Reactor Biológico

0,2 y 0,7 Kg. O₂ / hora

✓ Covariables: C. vol.SS_RB (Carga volumétrica de SS aplicada al Reactor Biológico)

✓ Número de casos: 54

6.a) Análisis de la varianza para SS_AT1:

Fuente	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	F-Snedecor	P-valor
Covariable: Cvol.SS_RB	5926,98	1	5926,98	107,14	0,0000
Efectos principales: Caudal de aire	1,18106	1	1,18106	0,02	0,8844
Residual	2821,23	51	55,3182		
Total (corregido)	8764,15	53			

6.b) Resultados del contraste:

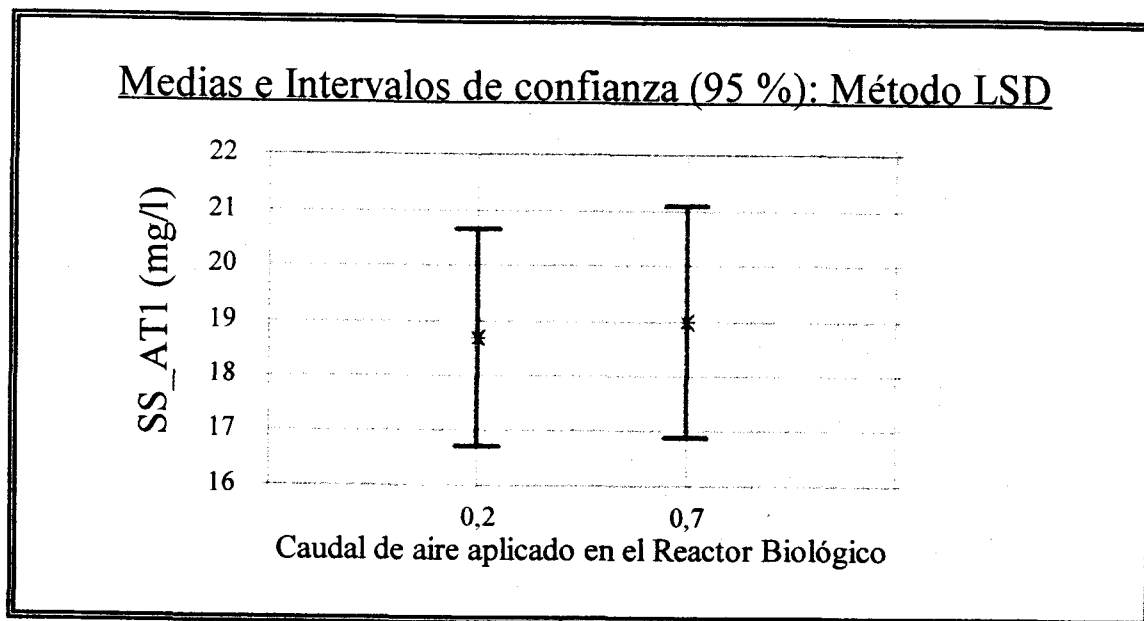
Caudal de aire

Diferencias entre las medias LS

0,2 - 0,7

-0,296807

* denota una diferencia estadísticamente significativa.



7º Estudio para Relleno Cerámico (H = 0,8 metros) y SS_AT1

✓ Variable dependiente: SS_AT1 (a la salida del Reactor Biológico)

✓ Factor: Caudal de aire aplicado en el Reactor Biológico

0,2 y 0,7 Kg. O₂ / hora

✓ Covariables: C. vol.SS_RB (Carga volumétrica de SS aplicada al Reactor Biológico)

✓ Número de casos: 36

7.a) Análisis de la varianza para SS_AT1:

Fuente	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	F-Snedecor	P-valor
Covariable: Cvol.SS_RB	5662,97	1	5662,97	43,27	0,0000
Efectos principales: Caudal de aire	140,494	1	140,494	1,07	0,3077
Residual	4318,93	33	130,877		
Total (corregido)	10338,8	35			

7.b) Resultados del contraste:

Caudal de aire

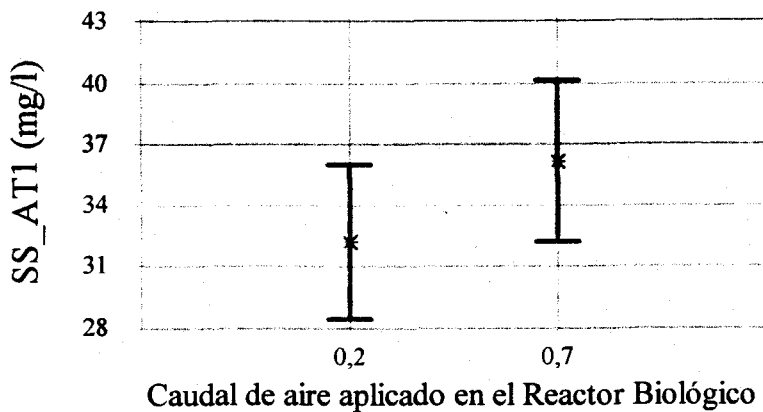
Diferencias entre las medias LS

0,2 - 0,7

-3,97414

* denota una diferencia estadísticamente significativa.

Medias e Intervalos de confianza (95 %): Método LSD



8.º Estudio para Relleno Doble Capa (flujo contra-corriente) y SS_AT1

✓ Variable dependiente: SS_AT1 (a la salida del Reactor Biológico)

✓ Factor: Caudal de aire aplicado en el Reactor Biológico

0,2 y 0,7 Kg. O₂ / hora

✓ Covariables: C. vol.SS_RB (Carga volumétrica de SS aplicada al Reactor Biológico)

✓ Número de casos: 41

8.a) Análisis de la varianza para SS_AT1:

Fuente	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	F-Snedecor	P-valor
Covariable: Cvol.SS_RB	770,889	1	770,889	23,64	0,0000
Efectos principales: Caudal de aire	314,793	1	314,793	9,66	0,0036
Residual	1238,92	38	32,603		
Total (corregido)	2262,98	40			

8.b) Resultados del contraste:

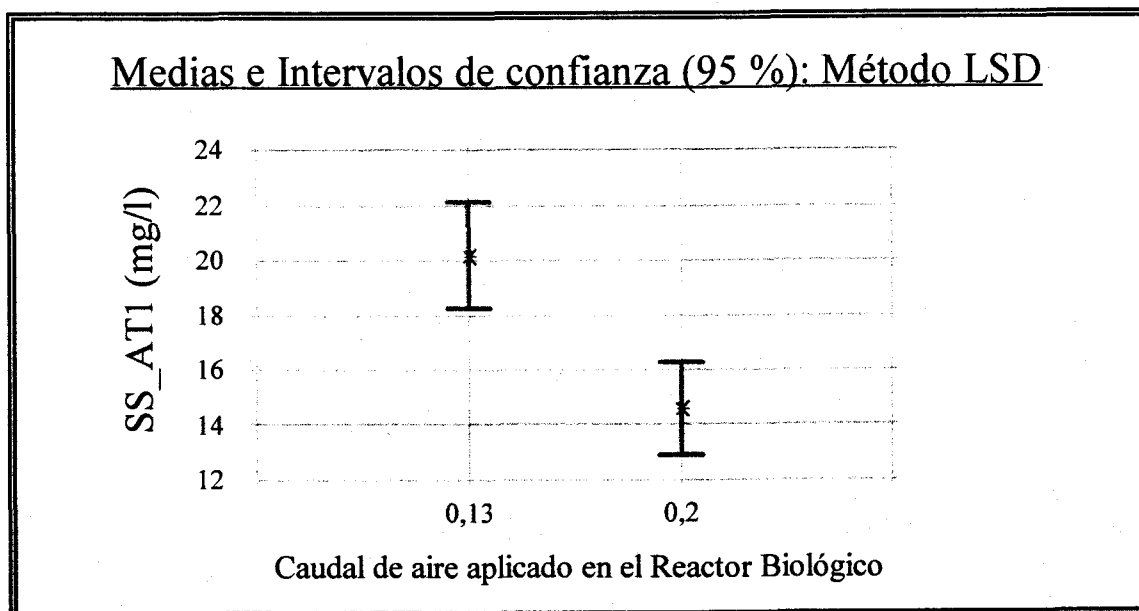
Caudal de aire

Diferencias entre las medias LS

0,2 - 0,7

*5,59614

* denota una diferencia estadísticamente significativa.



9º Estudio para Relleno Cerámico (H = 1,5 metros) y DBO_AT1

- ✓ Variable dependiente: DBO_AT1 (a la salida del Reactor Biológico)
- ✓ Factor: Caudal de aire aplicado en el Reactor Biológico
0,2 y 0,7 Kg. O₂ / hora
- ✓ Covariables: C. vol.DBO_RB (Carga volumétrica de DBO aplicada al Reactor Biológico)
- ✓ Número de casos: 60

9.a) Análisis de la varianza para DBO_AT1:

Fuente	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	F-Snedecor	P-valor
<i>Covariable: Cvol.DBO_RB</i>	9831,61	1	9831,61	70,40	0,0000
<i>Efectos principales: Caudal de aire</i>	442,55	1	442,55	3,17	0,0804
<i>Residual</i>	7960,02	57	139,649		
<i>Total (corregido)</i>	18730,4	59			

9.b) Resultados del contraste:

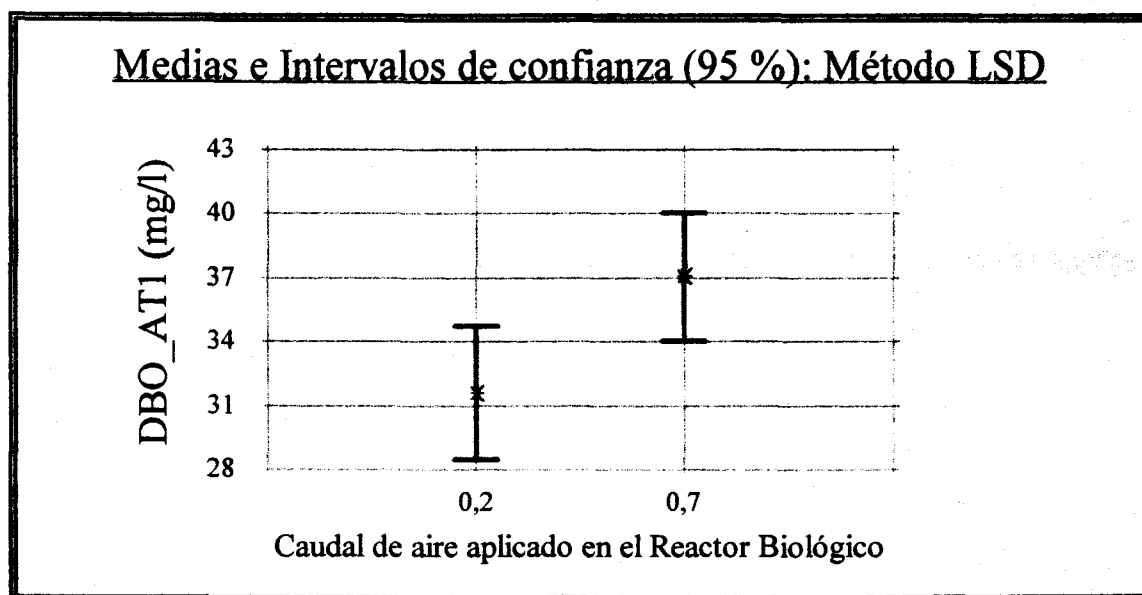
Caudal de aire

Diferencias entre las medias LS

0,2 - 0,7

-5,45963

* denota una diferencia estadísticamente significativa.



10ª Estudio para Relleno Cerámico (H = 1,2 metros) y DBO_AT1

✓ Variable dependiente: DBO_AT1 (a la salida del Reactor Biológico)

✓ Factor: Caudal de aire aplicado en el Reactor Biológico

0,2 y 0,7 Kg. O₂ / hora

✓ Covariables: C. vol.DBO_RB (Carga volumétrica de DBO aplicada al Reactor Biológico)

✓ Número de casos: 54

10.a) Análisis de la varianza para DBO_AT1:

Fuente	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	F-Snedecor	P-valor
Covariable: Cvol.DBO_RB	14702,8	1	14702,8	143,93	0,0000
Efectos principales: Caudal de aire	1695,81	1	1695,81	16,60	0,0002
Residual	5209,73	51	102,152		
Total (corregido)	21754,1	53			

10.b) Resultados del contraste:

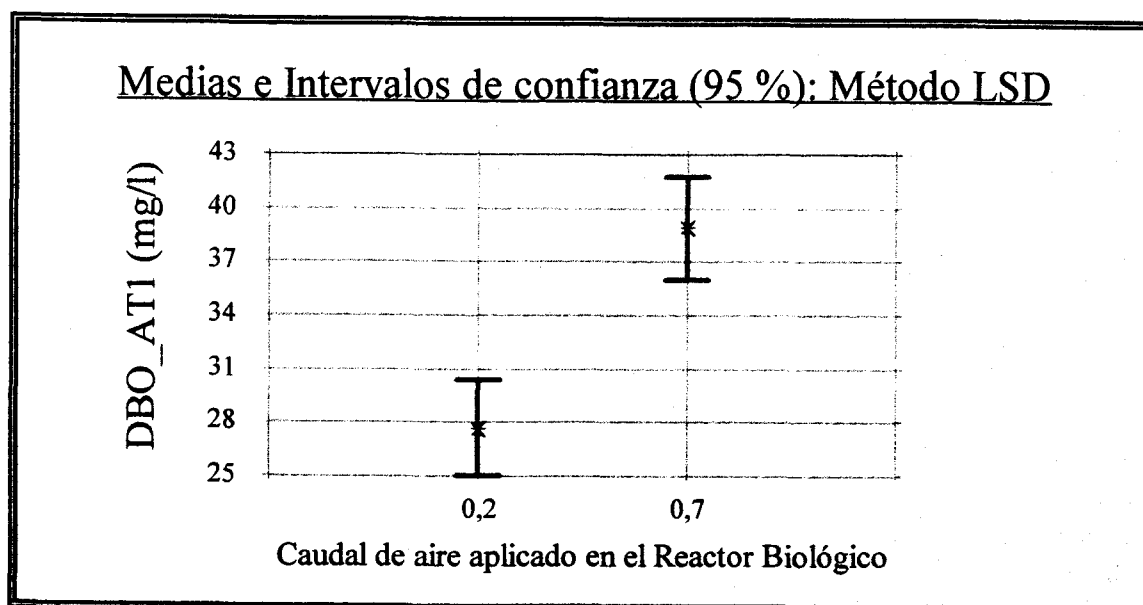
Caudal de aire

Diferencias entre las medias LS

0,2 - 0,7

* -11,2399

* denota una diferencia estadísticamente significativa.



11ª Estudio para Relleno Cerámico (H = 0,8 metros) y DBO_AT1

✓ *Variable dependiente:* DBO_AT1 (a la salida del Reactor Biológico)

✓ *Factor:* Caudal de aire aplicado en el Reactor Biológico

0,2 y 0,7 Kg. O₂ / hora

✓ *Covariables:* C. vol.DBO_RB (Carga volumétrica de DBO aplicada al Reactor Biológico)

✓ *Número de casos:* 36

11.a) Análisis de la varianza para DBO_AT1:

Fuente	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	F-Snedecor	P-valor
<i>Covariable: Cvol.DBO_RB</i>	9979,07	1	9979,07	38,97	0,0000
<i>Efectos principales: Caudal de aire</i>	157,999	1	157,999	0,62	0,4378
<i>Residual</i>	8450,8	33	256,085		
<i>Total (corregido)</i>	18535,6	35			

11.b) Resultados del contraste:

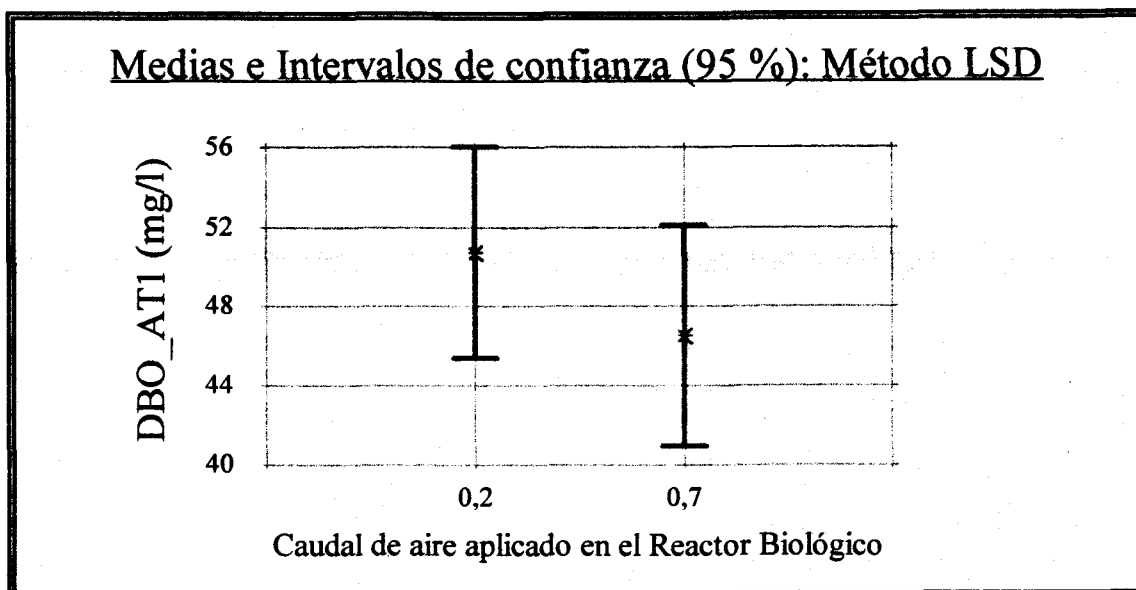
Caudal de aire

Diferencias entre las medias LS

0,2 - 0,7

4,19751

* denota una diferencia estadísticamente significativa.



12.9 Estudio para Relleno Doble Capa (flujo contra-corriente) y DBO_AT1

✓ Variable dependiente: DBO_AT1 (a la salida del Reactor Biológico)

✓ Factor: Caudal de aire aplicado en el Reactor Biológico

0,13 y 0,2 Kg. O₂ / hora

✓ Covariables: C. vol.DBO_RB (Carga volumétrica de DBO aplicada al Reactor Biológico)

✓ Número de casos: 41

12.a) Análisis de la varianza para DBO_AT1:

Fuente	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	F-Snedecor	P-valor
Covariable: Cvol.DBO_RB	570,484	1	570,484	33,88	0,0000
Efectos principales: Caudal de aire	155,542	1	155,542	9,24	0,0043
Residual	639,95	38	16,8408		
Total (corregido)	1377,9	40			

12.b) Resultados del contraste:

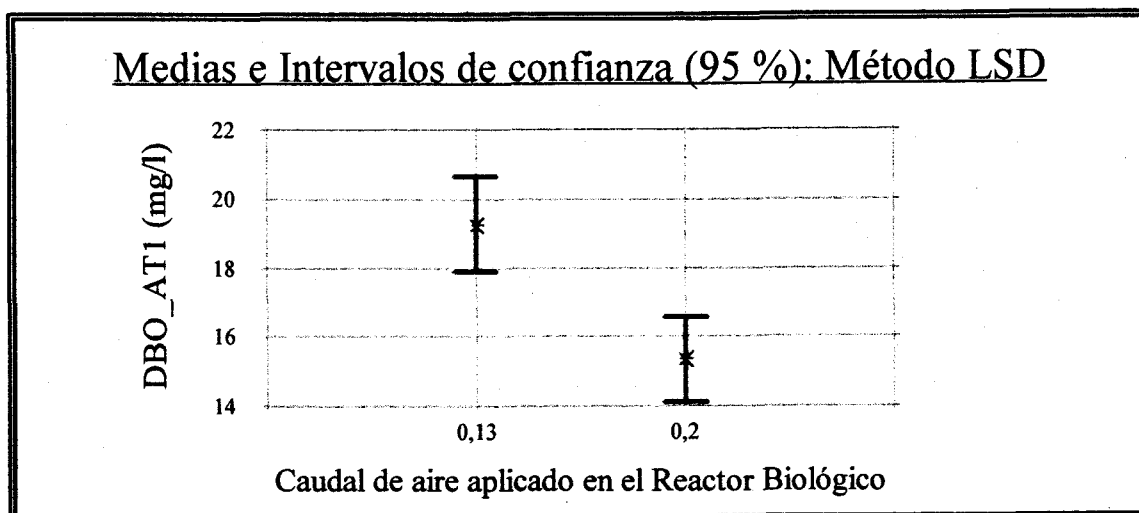
Caudal de aire

Diferencias entre las medias LS

0,13 - 0,2

*3,92554

* denota una diferencia estadísticamente significativa.



13ª Estudio para Filtro de Arena, SS_AT2 y distintas alturas de relleno

✓ *Variable dependiente:* SS_AT2 (a la salida del Filtro de Arena)

✓ *Factor:* Altura de relleno en el Filtro de Arena

0,75 y 1,25 metros

✓ *Covariables:* C. vol.SS_FA (Carga volumétrica de SS aplicada al Filtro de Arena)

✓ *Número de casos:* 125

13.a) Análisis de la varianza para SS_AT2:

Fuente	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	F-Snedecor	P-valor
Covariable: Cvol.SS_RB	4064,56	1	4064,56	286,63	0,0000
Efectos principales: Alt. relleno (FA)	175,294	1	175,294	12,36	0,0006
Residual	1730,05	122	14,1807		
Total (corregido)	6093,38	124			

13.b) Resultados del contraste:

Altura de relleno

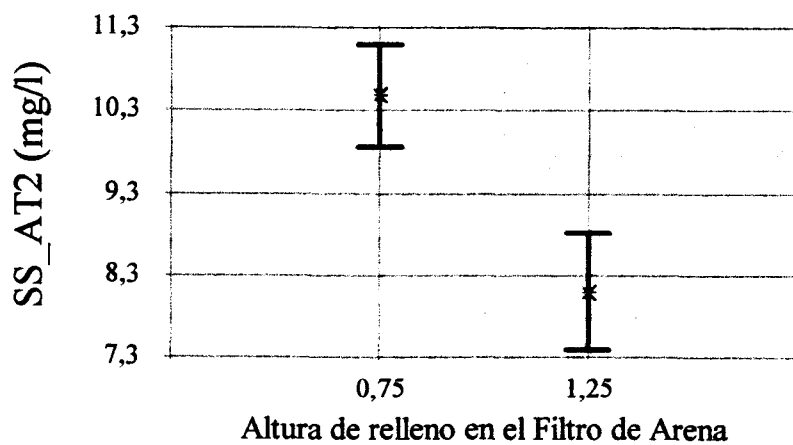
Diferencias entre las medias LS

0,75 - 1,25

*2,39039

* denota una diferencia estadísticamente significativa.

Medias e Intervalos de confianza (95 %): Método LSD



14) Estudio para Filtro de Arena, SS_AT2 y variable aireación en el Reactor

Biológico

✓ Variable dependiente: SS_AT2 (a la salida del Filtro de Arena)

✓ Factor. Caudal de aire aplicado en el Reactor Biológico

0,13 y 0,2 Kg. O₂ / hora

✓ Covariables: C. vol.SS_FA (Carga volumétrica de SS aplicada al Filtro de Arena)

✓ Número de casos: 125

14.a) Análisis de la varianza para SS_AT2:

Fuente	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	F-Snedecor	P-valor
Covariable: Cvol.SS_RB	3691,27	1	3691,27	295,08	0,0000
Efectos principales: Caudal de aire	391,692	2	195,846	15,66	0,0000
Residual	1513,65	121	12,5095		
Total (corregido)	6093,38	124			

14.b) Resultados del contraste:

Caudal de aire

Diferencias entre las medias LS

0,13 - 0,2

*3,44589

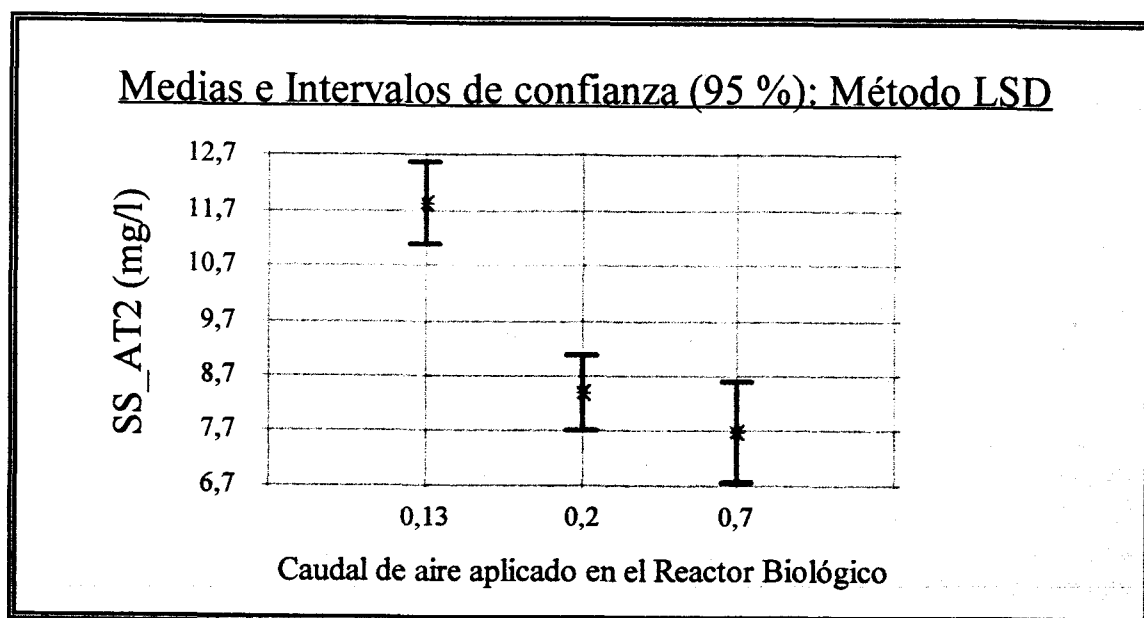
0,13 - 0,7

*4,17109

0,2 - 0,7

0,725203

* denota una diferencia estadísticamente significativa.



15º Estudio para Filtro de Arena. DBO AT2 y distintas alturas de relleno

✓ Variable dependiente: DBO_AT2 (a la salida del Filtro de Arena)

✓ Factor: Altura de relleno en el Filtro de Arena

0,75 y 1,25 metros

✓ Covariables: C. vol.DBO_FA (Carga volumétrica de DBO aplicada al Filtro de Arena)

✓ Número de casos: 125

15.a) Análisis de la varianza para DBO_AT2:

Fuente	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	F-Snedecor	P-valor
<i>Covariable: Cvol.DBO_RB</i>	8295,45	1	8295,45	251,62	0,0000
<i>Efectos principales: Alt. Relleno (FA)</i>	30,3981	1	30,3981	0,92	0,3388
<i>Residual</i>	4022,1	122	32,968		
<i>Total (corregido)</i>	12985,2	124			

15.b) Resultados del contraste:

Altura de relleno

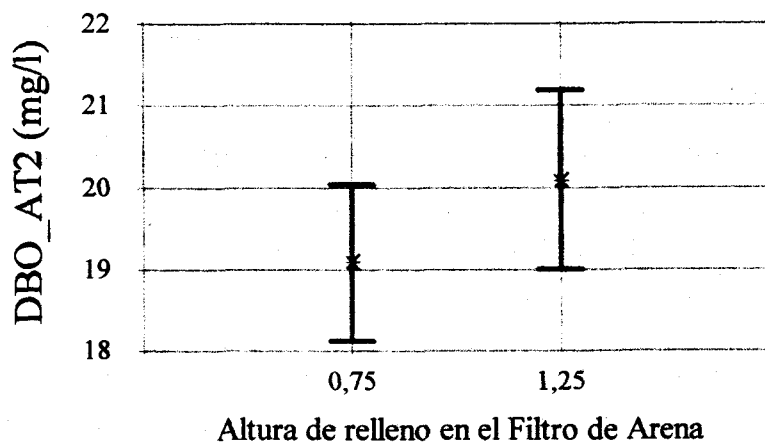
Diferencias entre las medias LS

0,75 - 1,25

-1,01757

* denota una diferencia estadísticamente significativa.

Medias e Intervalos de confianza (95 %): Método LSD



16^a Estudio para Filtro de Arena, DBO_AT2 y variable aireación en el Reactor Biológico

✓ Variable dependiente: DBO_AT2 (a la salida del Filtro de Arena)

✓ Factor. Caudal de aire aplicado en el Reactor Biológico

0,13 y 0,2 Kg. O₂ / hora

✓ Covariables: C. vol.DBO_FA (Carga volumétrica de DBO aplicada al Filtro de Arena)

✓ Número de casos: 125

16.a) Análisis de la varianza para DBO_AT2:

Fuente	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	F-Snedecor	P-valor
Covariable: Cvol.DBO_RB	8586,38	1	8586,38	269,38	0,0000
Efectos principales: Caudal de aire	195,72	2	97,8599	3,07	0,0500
Residual	3856,78	121	31,8742		
Total (corregido)	12985,2	124			

16.b) Resultados del contraste:

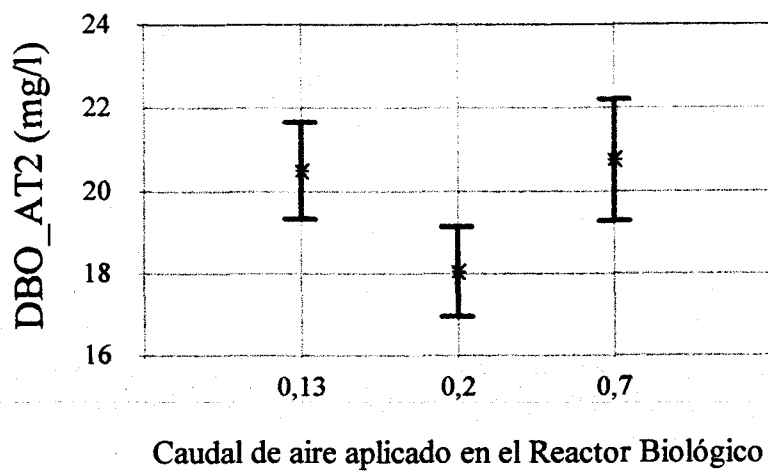
<u>Caudal de aire</u>	<u>Diferencias entre las medias LS</u>
0,13 - 0,2	*2,4314
0,13 - 0,7	-0,264198

0,2 - 0,7

*-2,6956

* denota una diferencia estadísticamente significativa.

Medias e Intervalos de confianza (95 %): Método LSD



12.- ESTUDIO DEL LAVADO

Los lavados de los biofiltros tras su colmatación, por efecto del paso del agua a través del material que compone su relleno, se encuentran íntimamente relacionados con la recuperación de éstos en las horas siguientes. La casuística que rige este aspecto de la depuración mediante lechos inundados es muy compleja y, al tiempo, crítica respecto a varios condicionantes, a saber:

- ✓ nivel de contaminación del agua de entrada durante las horas previas
- ✓ en el caso del Filtro de Arena, nivel de contaminación de salida y rendimientos de eliminación de contaminantes en el Reactor Biológico que le precede
- ✓ cantidad de sólidos retenidos en el seno del biofiltro
- ✓ estado de la biomasa: nivel de actividad microbiológica, densidad,

espesor, etc.

Por tanto, sería necesaria una investigación exclusivamente dedicada al estudio de los lavados para elaborar un modelo, más o menos fiable, que permitiese predecir las necesidades en cada momento, función de las distintas variables y parámetros manejados. De hecho, ésta constituye una de las propuestas como línea de investigación futura.

Sin embargo, debe buscarse la sencillez en la explotación diaria de una planta depuradora, lo que exige que el lavado tipo debe modificarse con poca frecuencia, pues ha de evitarse introducir la habilidad del operador como variable del proceso.

Es por ello, que el criterio que fundamenta el diseño de los automatismos de los lavados, es la progresiva pérdida de carga que tiene lugar en el seno del biofiltro, en función del tiempo. De este modo, la ocurrencia de un lavado se produce asociada a un fenómeno puramente físico, que tiene en cuenta el deterioro de las condiciones hidráulicas, independientemente del estado en que se encuentra la biomasa en ese momento.

En la investigación presente se han ensayado distintos modelos tipo de lavado, y se ha constatado su idoneidad de forma empírica y experimental. En

función de investigaciones precedentes de la Cátedra y de las referencias bibliográficas consultadas, se escogió flujos ascendentes de agua y aire de lavado (que favorecen la facilidad constructiva en los mecanismos y dispositivos de la planta). Los distintos parámetros de lavado se repitieron a lo largo de un período, hasta considerar pertinente la modificación de alguno de ellos.

En el *lavado del Filtro de Arena* se inició, coincidiendo con la puesta a punto de la nueva planta piloto, un régimen de lavados someros, tal y como se describió en el noveno capítulo de esta tesis doctoral. Se hacía uso, por término medio, del 5 % diario del agua tratada (equivalente a un sólo ciclo de lavado). Se probaron dos alternativas. Una consistente en un lavado más violento ($70 \text{ m}^3 / \text{m}^2 / \text{hora}$, de agua y $75 \text{ Nm}^3 / \text{m}^2 / \text{hora}$, de aire), y otra segunda, de menor potencia ($23 \text{ m}^3 / \text{m}^2 / \text{hora}$, de agua y $24 \text{ Nm}^3 / \text{m}^2 / \text{hora}$, de aire). Ninguna de las dos opciones propició resultados favorables.

Así, al comienzo de la Investigación de Fondo, se operó un salto cualitativo en la potencia de lavado, y se incrementó a dos el número de ciclos, o lo que es lo mismo, se usó hasta el 12 % del agua tratada diariamente. Al duplicar el número de ciclos, el caudal de agua de lavado se mantiene en $23 \text{ m}^3 / \text{m}^2 / \text{hora}$, pese a introducir ahora el doble de volumen. Se pretende suplir este escaso caudal de agua aplicada con un elevado caudal de aire: $60 \text{ Nm}^3 / \text{m}^2 / \text{hora}$. Finalmente, se observa que la efectividad del bombeo de agua es superior a la

del aire, dada la gran densidad saturada de la arena silíceas, a la hora de expansionar el material y hacer realmente efectivo el lavado. Es así como se llega finalmente al siguiente lavado tipo del **Filtro de Arena**:

- ✓ Uso de agua tratada: 8 % del volumen tratado diariamente
- ✓ Caudal de agua de lavado: $47 \text{ m}^3 / \text{m}^2 / \text{hora}$
- ✓ Caudal de aire de lavado: $38 \text{ Nm}^3 / \text{m}^2 / \text{hora}$
- ✓ nº de ciclos de lavado: 2
- ✓ Carrera de lavado: 2 días

Además, con estos parámetros de lavado, la duración de éste alcanza en torno a los cinco minutos. Es decir, apareció más efectivo un lavado rápido y potente, frente a lavados más suaves y con prolongados períodos de aclarado.

En lo que respecta al *lavado del Reactor Biológico*, se actuó de igual forma al Filtro de Arena, es decir, variando los distintos parámetros en busca de la optimización de la operación. Durante la puesta a punto de la nueva planta piloto, se intentó relajar la potencia de los lavados. Finalmente, se llega al siguiente lavado tipo del **Reactor Biológico**:

- ✓ Uso de agua tratada: 15 % del volumen tratado diariamente
 - ✓ Caudal de agua de lavado: $45 \text{ m}^3 / \text{m}^2 / \text{hora}$
-

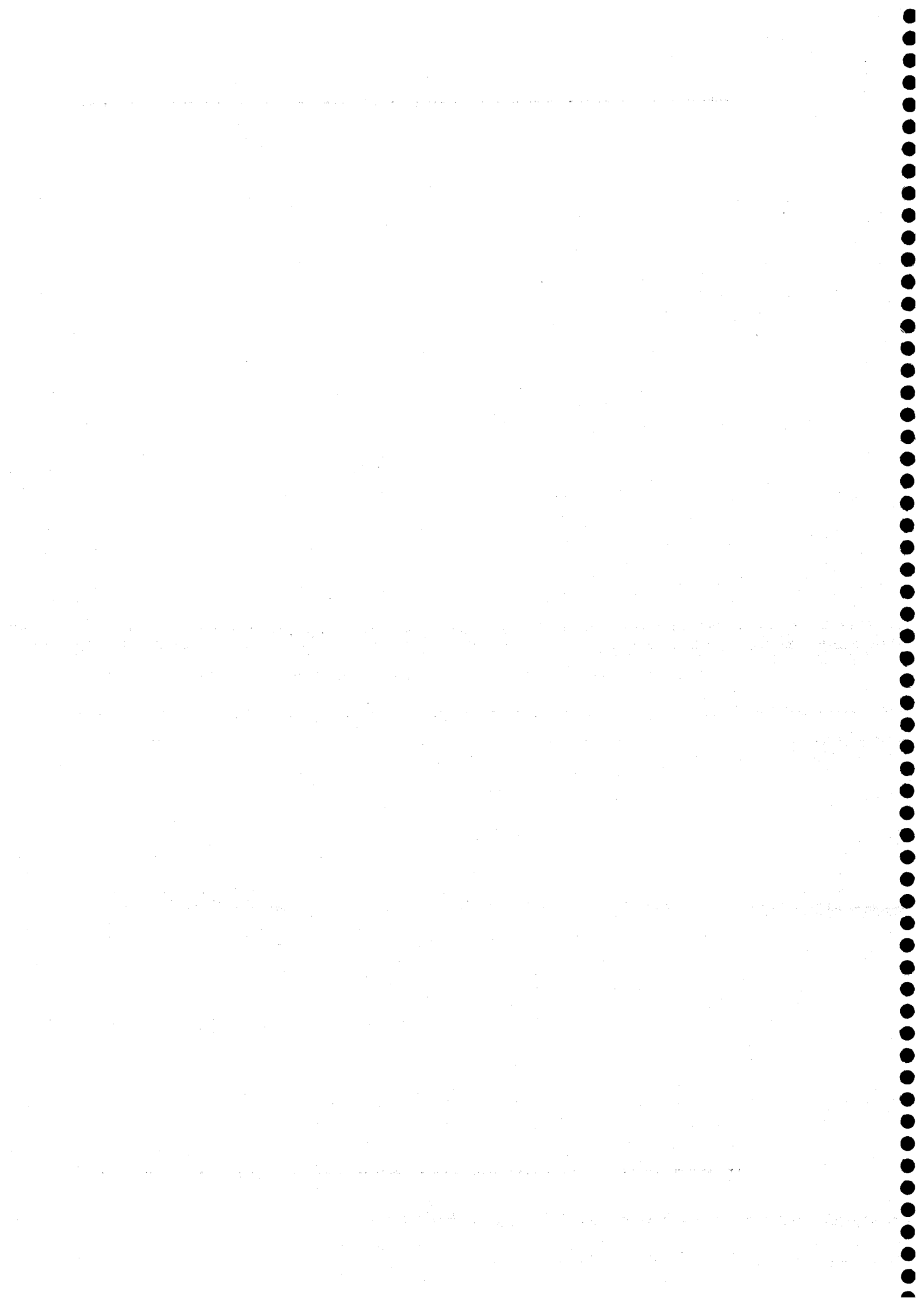
✓ Caudal de aire de lavado: $75 \text{ Nm}^3 / \text{m}^2 / \text{hora} *$

✓ nº de ciclos de lavado: 3

✓ Carrera de lavado: 24 horas

* Este caudal de aire puede reducirse en el caso de ausencia de relleno plástico en el Reactor Biológico. En efecto, el aire es más efectivo para este tipo de relleno menos pesado, mientras que el agua lo es para rellenos más pesados.

El tiempo de lavado se aproxima a los 10 minutos, con lo que también es extensivo, para este caso, el fenómeno observado en el Filtro de Arena, consistente en una mayor efectividad de lavados rápidos y potentes, frente a prolongados períodos de aclarado.



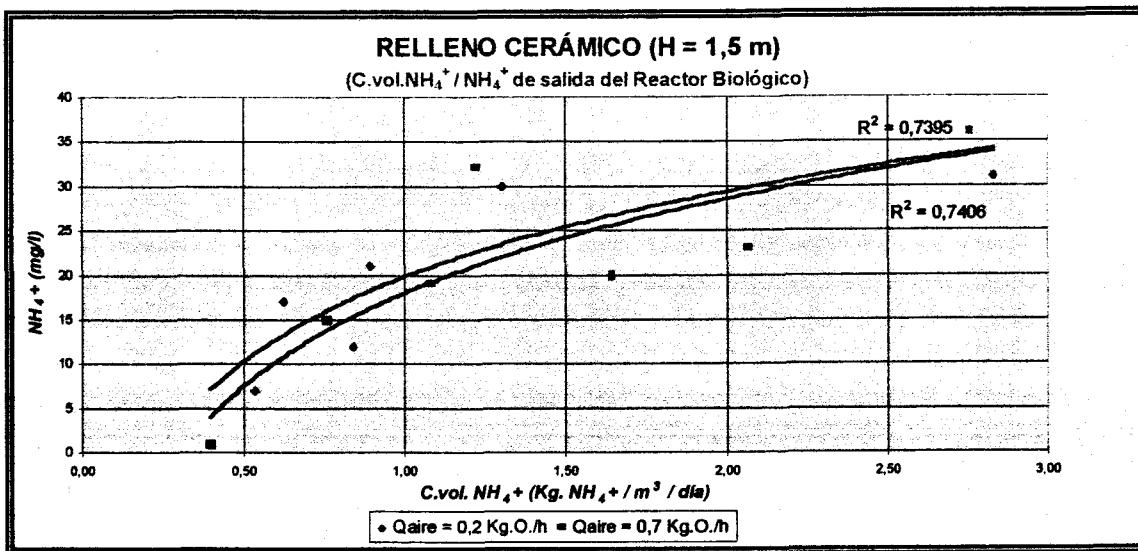
13.- ANÁLISIS DEL SEGUIMIENTO DE LOS COMPUESTOS NITROGENADOS

El estudio se centró en el seguimiento y posterior análisis de la presencia de nitrógeno en sus formas de amonio, nitrato y nitrito. Para conocer su evolución y conversiones entre dichas formas, en primer lugar se examina la **ELIMINACIÓN DE NH_4^+ EN EL REACTOR BIOLÓGICO.**

En cuanto a la **influencia de la aireación** en el proceso, los resultados han mostrado, por una parte, que un $\text{Qaire} = 0,2 \text{ Kg. O}_2 / \text{ hora}$ proporciona una eliminación de NH_4^+ de magnitud muy similar a la de un $\text{Qaire} = 0,7 \text{ Kg. O}_2 / \text{ hora}$ (algo mayor en éste último, aunque las diferencias no son significativas estadísticamente). Sin embargo, cuando se suministró un $\text{Qaire} = 0,13 \text{ Kg. O}_2 / \text{ hora}$, se comprobó que resultaba escaso para provocar el proceso de nitrificación en el Reactor Biológico. Para apoyar esta afirmación se acompañan los

resultados (con distinta aireación) de una de las fases (Relleno Cerámico, con altura de 1,5 metros), y una comparación estadística multivariante, que corrobora lo anterior:

Fig.13.1.- Niveles de nitrógeno amoniacal, a la salida del Reactor Biológico



En los siguientes datos estadísticos, se tiene:

✓ Variable dependiente: NH₄⁺_AT1 (a la salida del Reactor Biológico)

✓ Factor: Caudal de aire en el Reactor Biológico

0,13, 0,2 y 0,7 Kg. O₂ / hora

✓ Covariables: C. vol.NH₄⁺_RB (Carga volumétrica de NH₄⁺ aplicada al Reactor Biológico)

✓ Número de casos: 50

a) Análisis de la varianza para NH_4^+ _AT1:

<u>Fuente</u>	<u>Suma de cuadrados</u>	<u>G.L.</u>	<u>Cuadrado medio</u>	<u>F-Snedecor</u>	<u>P-valor</u>
Covariables: Cvol. NH_4^+ _RB	11185,4	1	11185,4	164,90	0,0000
Efectos principales: Caudal de aire	800,042	2	400,021	5,90	0,0052
Residual	3120,4	46	67	8313	
Total (corregido)	14576,5	49			

b) Resultados del contraste:

Caudal de aire

Diferencias entre las medias LS

0,13 - 0,2

*11,5776

0,13 - 0,7

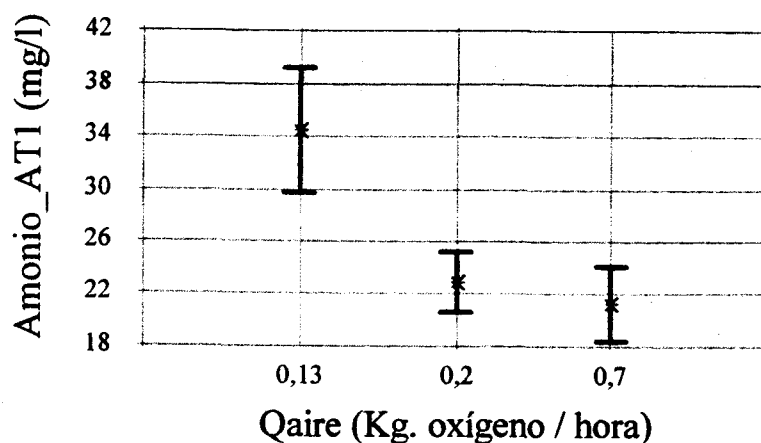
*13,1653

0,2 - 0,7

1,58772

* denota una diferencia estadísticamente significativa.

Medias e Intervalos de confianza (95 %): Método LSD



A continuación, se estudia la *influencia del tipo de relleno* en la eliminación de NH_4^+ en el Reactor Biológico. El siguiente estudio revela que las diferencias estadísticas entre las distintas alturas de relleno en el cerámico no son significativas, aunque se observa una ligera mayor eliminación para menores alturas del mismo. Por su parte, el Relleno Doble Capa presentó menores niveles de eliminación, que el Relleno cerámico. En los siguientes datos estadísticos, se tiene un $Q_{aire} = 0,2 \text{ Kg. O}_2 / \text{ hora}$ y:

✓ *Variable dependiente:* $\text{NH}_4^+_{\text{AT1}}$ (a la salida del Reactor Biológico)

✓ *Factor:* Tipo de relleno en el Reactor Biológico

RC: Relleno cerámico (con alturas de 0,8, 1,2 y 1,5 metros)

DC: Relleno doble capa

✓ *Covariables:* C. vol. $\text{NH}_4^+_{\text{RB}}$ (Carga volumétrica de NH_4^+ aplicada al Reactor Biológico)

✓ *Número de casos:* 27

a) Análisis de la varianza para $\text{NH}_4^+_{\text{AT1}}$:

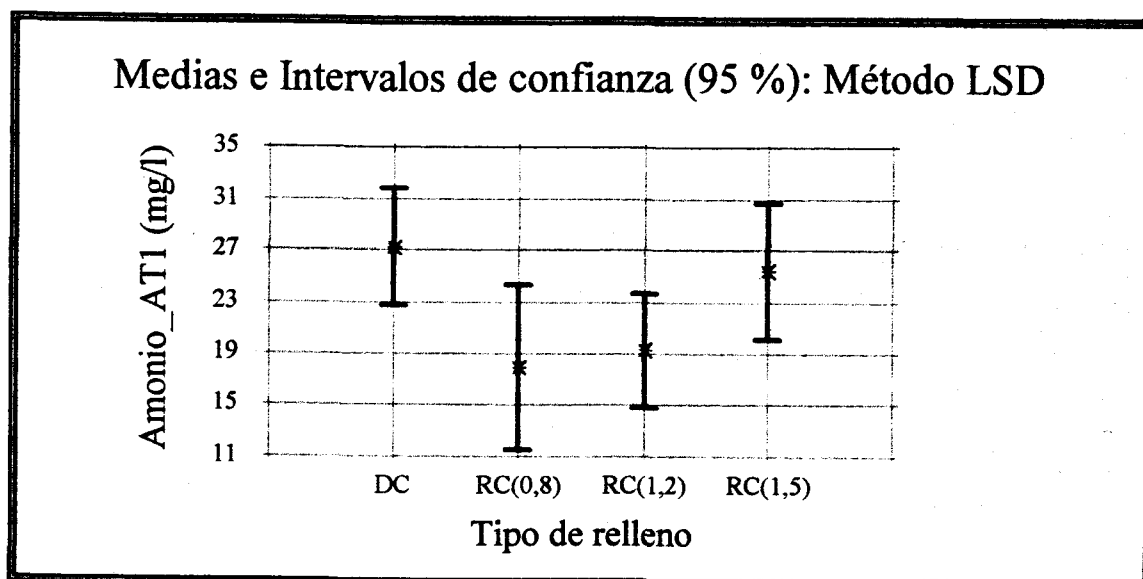
Fuente	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	F-Snedecor	P-valor
<i>Covariables: Cvol.$\text{NH}_4^+_{\text{RB}}$</i>	5697,25	1	5697,25	74,71	0,0000
<i>Efectos principales: Tipo de relleno</i>	364,654	3	121,551	1,59	0,2193
<i>Residual</i>	1677,6	22	76,2544		

<u>Fuente</u>	<u>Suma de cuadrados</u>	<u>G.L.</u>	<u>Cuadrado medio</u>	<u>F-Snedecor</u>	<u>P-valor</u>
Total (corregido)	7558,67	26			

b) Resultados del contraste:

<u>Tipo de relleno</u>	<u>Diferencias entre las medias LS</u>
DC - RC (0,8)	9,28878
DC - RC (1,2)	7,94211
DC - RC (1,5)	1,74116
RC (0,8) - RC (1,2)	-1,34666
RC (0,8) - RC (1,5)	-7,54761
RC (1,2) - RC (1,5)	-6,20095

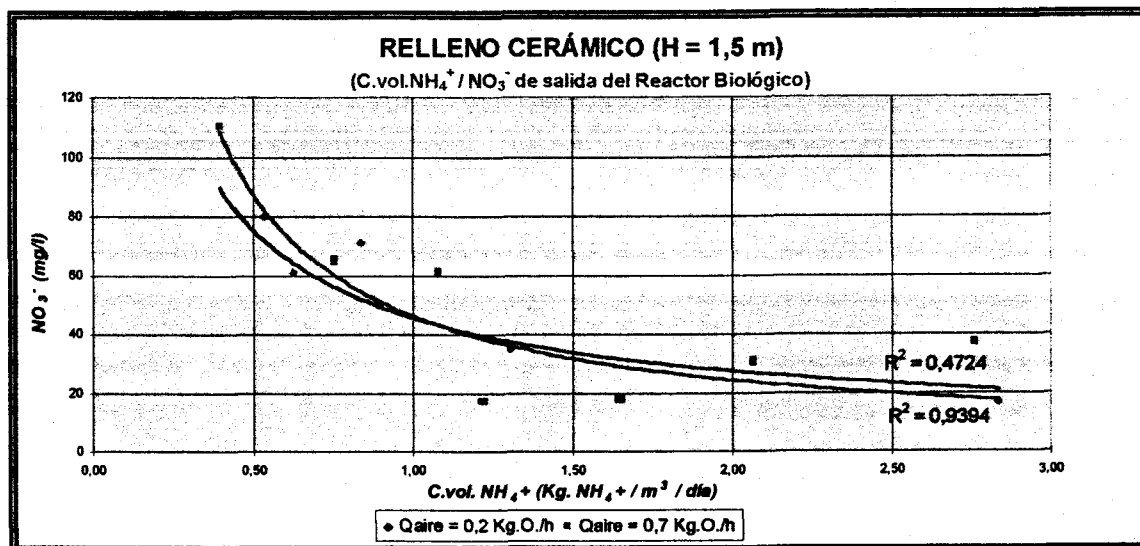
* denota una diferencia estadísticamente significativa.



El siguiente aspecto a tratar se va a centrar en la **PRODUCCIÓN DE NITRATOS**. El fenómeno que se observa en este caso es similar al de eliminación de NH_4^+ . Apenas existe diferencia entre la aireación suministrada, si se trata de $Q_{\text{aire}} = 0,2 \text{ Kg. O}_2 / \text{ hora}$ o $Q_{\text{aire}} = 0,7 \text{ Kg. O}_2 / \text{ hora}$, siendo menor la producción de nitratos en el caso del $Q_{\text{aire}} = 0,13 \text{ Kg. O}_2 / \text{ hora}$.

El siguiente gráfico y datos estadísticos ilustran lo anterior:

Fig.13.2.- Niveles de N-NO_3^- a la salida del Reactor Biológico



En este caso, el análisis estadístico engloba en la comparación tanto la aireación como el tipo de relleno. Se puede comprobar, en cuanto al tipo de relleno, la menor producción para el caso del Relleno Doble Capa:

✓ Variable dependiente: $\text{NO}_3^-_{\text{AT1}}$ (a la salida del Reactor Biológico)

✓ Factor: Tipo de relleno en el Reactor Biológico

RC: Relleno cerámico (con alturas de 0,8, 1,2 y 1,5 metros)

DC: Relleno doble capa (con aireación de 0,13 y 0,2 Kg. O_2 / hora)

✓ Covariables: C. vol. $\text{NH}_4^+_{\text{RB}}$ (Carga volumétrica de NH_4^+ aplicada al Reactor Biológico)

✓ Número de casos: 50

a) Análisis de la varianza para $\text{NH}_4^+_{\text{AT1}}$:

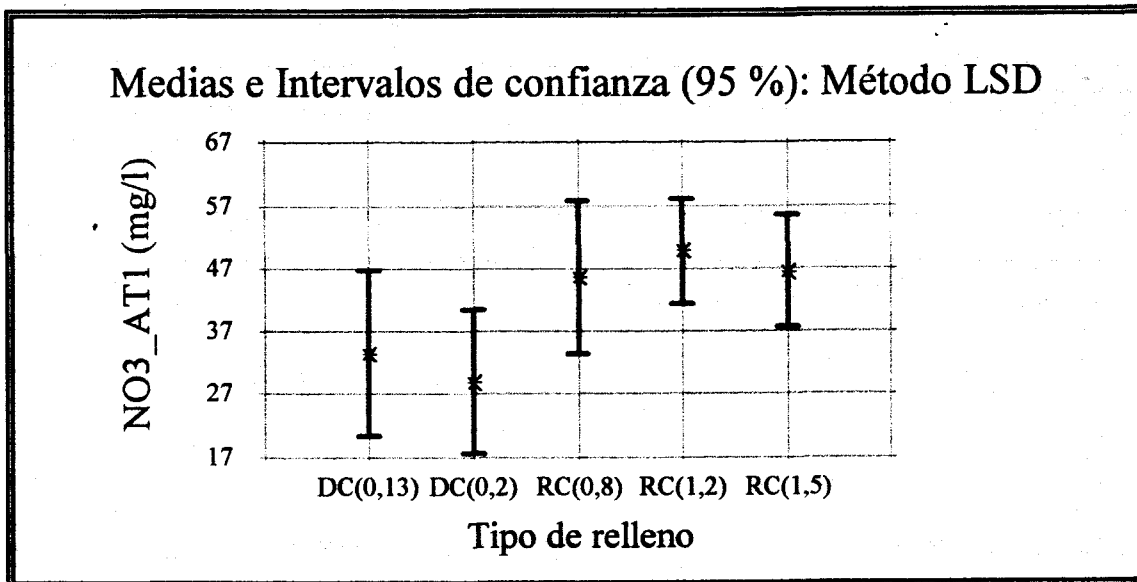
Fuente	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	F-Snedecor	P-valor
Covariables: Cvol. $\text{NH}_4^+_{\text{RB}}$	12325,2	1	12325,2	23,94	0,0000
Efectos principales: Tipo de relleno	2914,93	4	728,732	1,42	0,2446
Residual	22648,6	44	514,74		
Total (corregido)	36618,0	49			

b) Resultados del contraste:

<u>Tipo de relleno</u>	<u>Diferencias entre las medias LS</u>
DC(0,13) - DC(0,2)	4,60295
DC(0,13) - RC(0,8)	-12,1749
DC(0,13) - RC(1,2)	-16,2252

DC(0,13) - RC(1,5)	-13,0605
DC(0,2) - RC(0,8)	-16,7779
DC(0,2) - RC(1,2)	*-20,8281
DC(0,2) - RC(1,5)	-17,6635
RC(0,8) - RC(1,2)	-4,05027
RC(0,8) - RC(1,5)	-0,885628
RC(1,2) - RC(1,5)	3,16464

* denota una diferencia estadísticamente significativa.



El siguiente aspecto interesante que se estudia es el **EFFECTO QUE PROVOCA EL FILTRO DE ARENA**, situado tras el Reactor Biológico. A priori, y pese a tratarse de un reactor que no se airea, no deben esperarse procesos

desnitrificantes, pues no existe aporte de fuente de carbono alguna, ni externa ni intrínseca al sistema. Por otra parte, tampoco cabe esperar procesos nitrificantes, dada la ausencia de aireación.

Los resultados mostraron que, sistemáticamente, el Filtro de Arena incrementó la concentración a su paso, tanto del NH_4^+ , como del NO_3^- . En el caso del NH_4^+ , con la excepción de aplicación de muy reducidas cargas volumétricas de NH_4^+ , en cuyo caso el proceso de nitrificación en el Filtro de Arena se produce de una manera más completa y se traduce en una continuación de la eliminación en esta etapa de NH_4^+ .

Por tanto, sobre la *influencia de la aireación*, puede afirmarse que el oxígeno residual presente en el agua tras la aireación en el Reactor Biológico, hizo que continuase, en cierta medida, el proceso de nitrificación, al tiempo que continuó el proceso de conversión del nitrógeno orgánico en amoniacal (salvo la excepción comentada).

Este fenómeno observado, se produjo con mayor intensidad en el caso de mayor aireación. Así, por ejemplo, puede analizarse el caso del Relleno cerámico con $H = 1,5$ metros, donde un $Q_{\text{aire}} = 0,2$ Kg. O_2 / hora, respecto a un $Q_{\text{aire}} = 0,7$ Kg. O_2 / hora produjo menor valor de salida (del Reactor Biológico) de NH_4^+ y, aproximadamente, similar de NO_3^- . Sin embargo, tanto las salidas de NH_4^+ , como

de NO_3^- , fueron superiores, tras el Filtro de Arena, durante el período en que se aireó el Reactor Biológico con $Q_{\text{aire}} = 0,7 \text{ Kg. O}_2 / \text{hora}$.

Para corroborar lo anterior, se acompañan una serie de ilustrativos gráficos, junto a un análisis estadístico multivariante:

Fig.13.3.- Niveles de nitrógeno amoniacal, a la salida del Reactor Biológico y el Filtro de Arena ($Q_{\text{aire}} = 0,2 \text{ Kg. O}_2 / \text{hora}$)

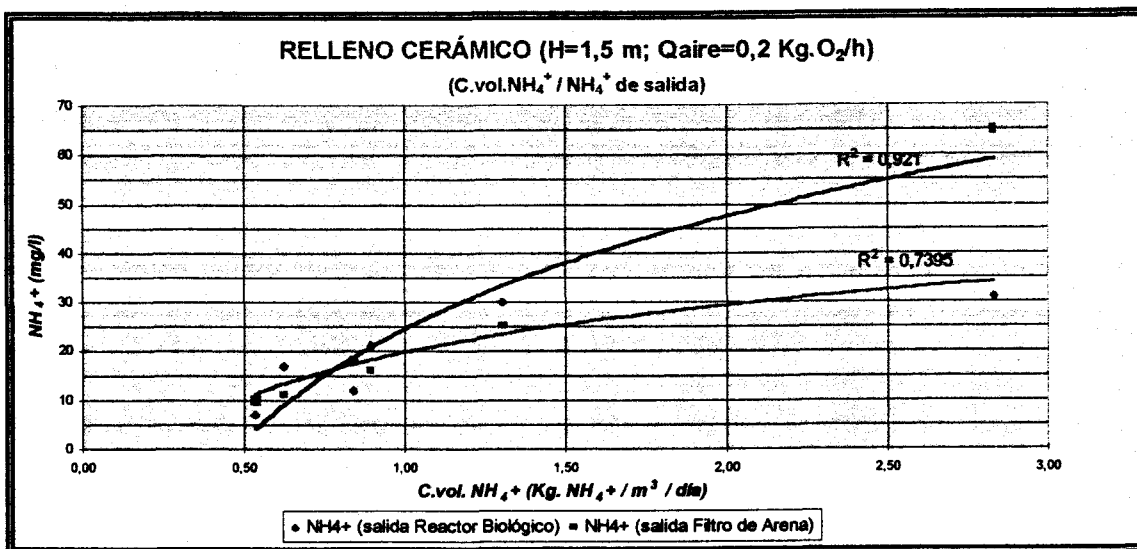


Fig.13.4.- Niveles de N-NO₃⁻, a la salida del Reactor Biológico y el Filtro de Arena (Qaire = 0,2 Kg. O₂/ hora)

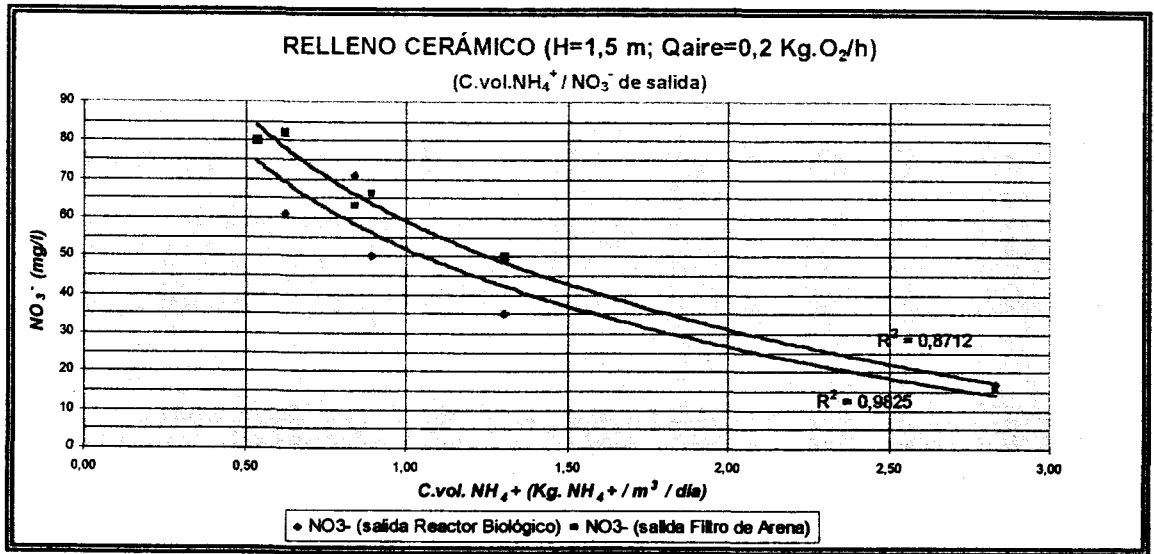


Fig.13.5.- Niveles de N-NO₃⁻, a la salida del Reactor Biológico y el Filtro de Arena (Qaire = 0,7 Kg. O₂/ hora)

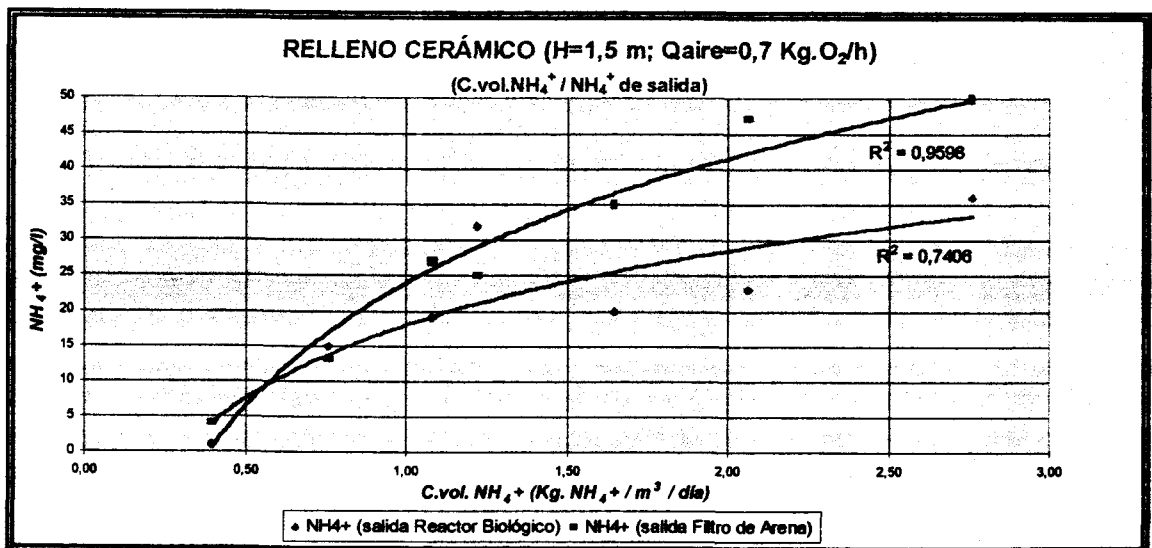
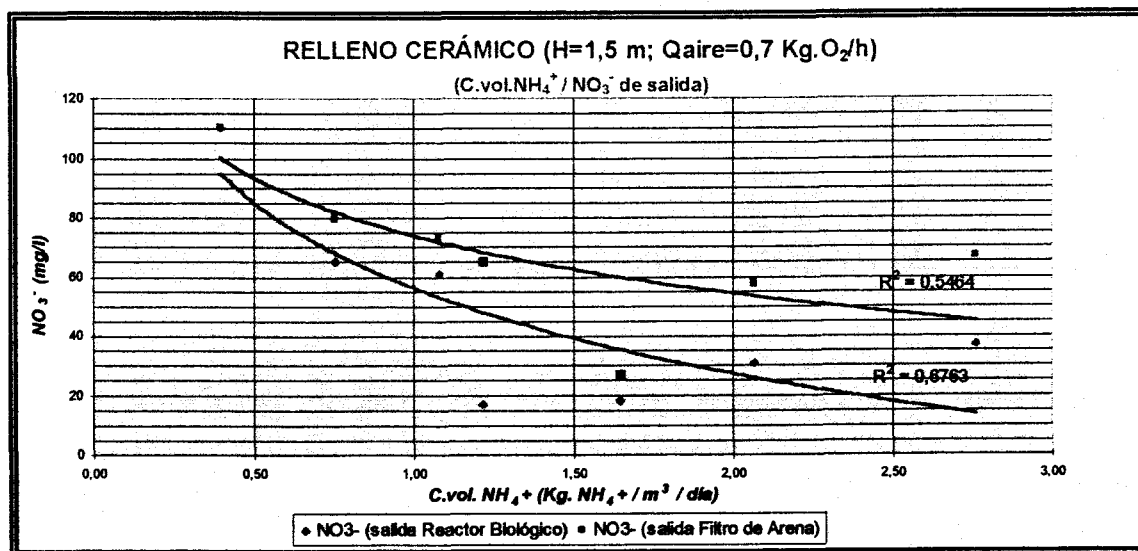


Fig.13.6.- Niveles de N-NO₃⁻ a la salida del Reactor Biológico y el Filtro de Arena (Qaire = 0,7 Kg. O₂ / hora)



Una de las conclusiones importantes que se inferían para el estudio en el Reactor Biológico, era la inferior eliminación de NH₄⁺, así como una menor producción de NO₃⁻, en el caso del Relleno doble capa, respecto al cerámico. Sin embargo, resulta llamativo el hecho de encontrar valores bastante superiores, tanto de producción de nitratos como de amonio, tras el paso por el Filtro de Arena. Es decir, el fenómeno que se observaba, común a todas las fases, de continuación de la nitrificación y conversión de nitrógeno orgánico, aquí se acentúa. La explicación es sencilla, y reside en la mayor altura de relleno en el Filtro de Arena durante esta fase. Y ésto, en contraste al hecho de que la altura de relleno en el Reactor Biológico, no se mostró significativa.

Para confirmar lo anterior, se acompañan los siguientes análisis multivariantes:

✓ Variable dependiente: NH_4^+ _AT2 (a la salida del Filtro de Arena)

✓ Factor: Altura de relleno en el Filtro de Arena

0,75 y 1,25 metros

✓ Covariables: C. vol. NH_4^+ _FA (Carga volumétrica de NH_4^+ aplicada al Filtro de Arena)

✓ Número de casos: 40

a) Análisis de la varianza para NH_4^+ _AT2:

<i>Fuente</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>G.L.</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>F-Snedecor</i>	<i>P-valor</i>
<i>Covariables: Cvol.NH_4^+_FA</i>	7461,38	1	7461,38	100,77	0,0000
<i>Efectos principales: Altura de relleno</i>	725,495	1	725,495	9,80	0,0034
<i>Residual</i>	2739,54	37	74,0417		
<i>Total (corregido)</i>	10247,8	39			

b) Resultados del contraste:

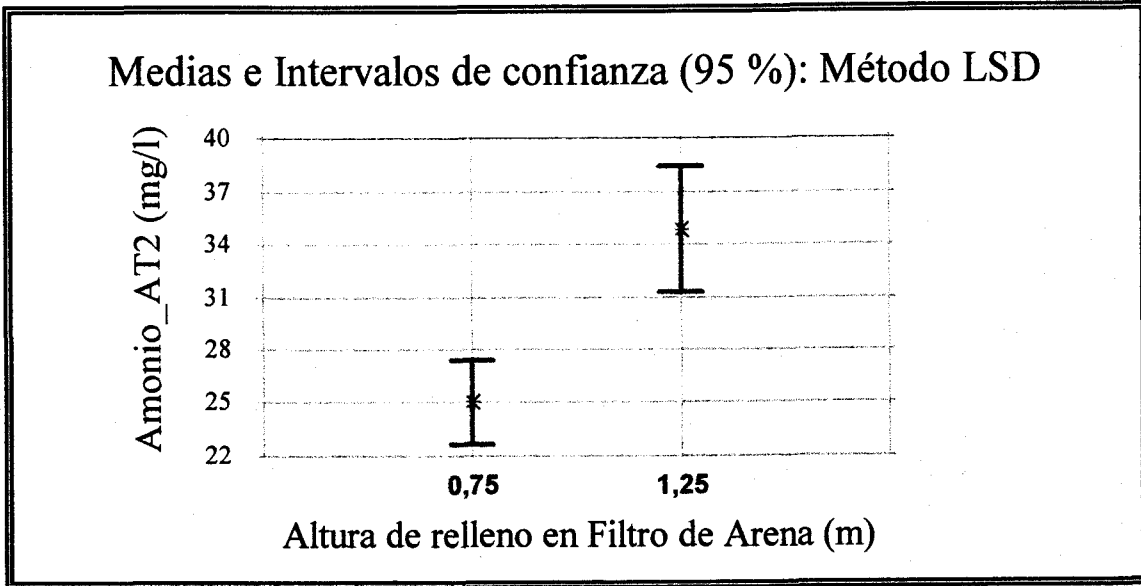
Tipo de relleno

Diferencias entre las medias LS

0,75 - 1,25

* -9,85195

* denota una diferencia estadísticamente significativa.



En el siguiente análisis estadístico, se tiene:

✓ *Variable dependiente:* NO₃⁻_AT2 (a la salida del Filtro de Arena)

✓ *Factor:* Altura de relleno en el Filtro de Arena

0,75 y 1,25 metros

✓ *Covariables:* C. vol.NO₃⁻_FA (Carga volumétrica de NO₃⁻ aplicada al Filtro de Arena)

✓ *Número de casos:* 40

a) Análisis de la varianza para NH₄⁺_AT2:

Fuente	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	F-Snedecor	P-valor
Covariables: Cvol.NO ₃ ⁻ _FA	11080,1	1	11080,1	27,33	0,0000

Fuente	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	F-Snedecor	P-valor
<i>Efectos principales: Altura de relleno</i>	3792,91	1	3792,91	9,36	0,0041
<i>Residual</i>	14998,0	37	405,351		
<i>Total (corregido)</i>	38317,8	39			

b) Resultados del contraste:

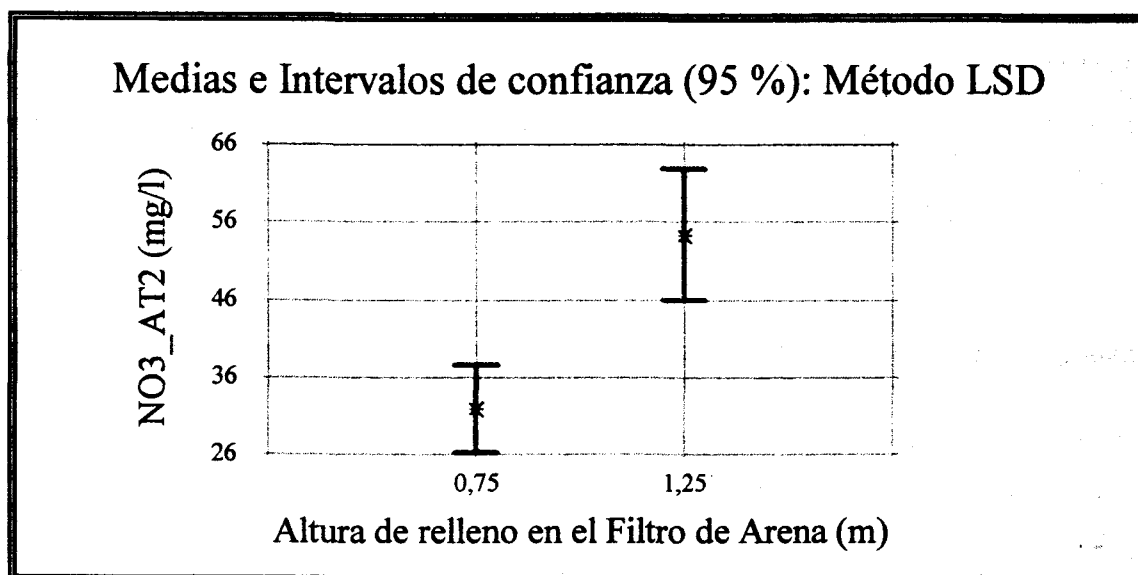
Tipo de relleno

Diferencias entre las medias LS

0,75 - 1,25

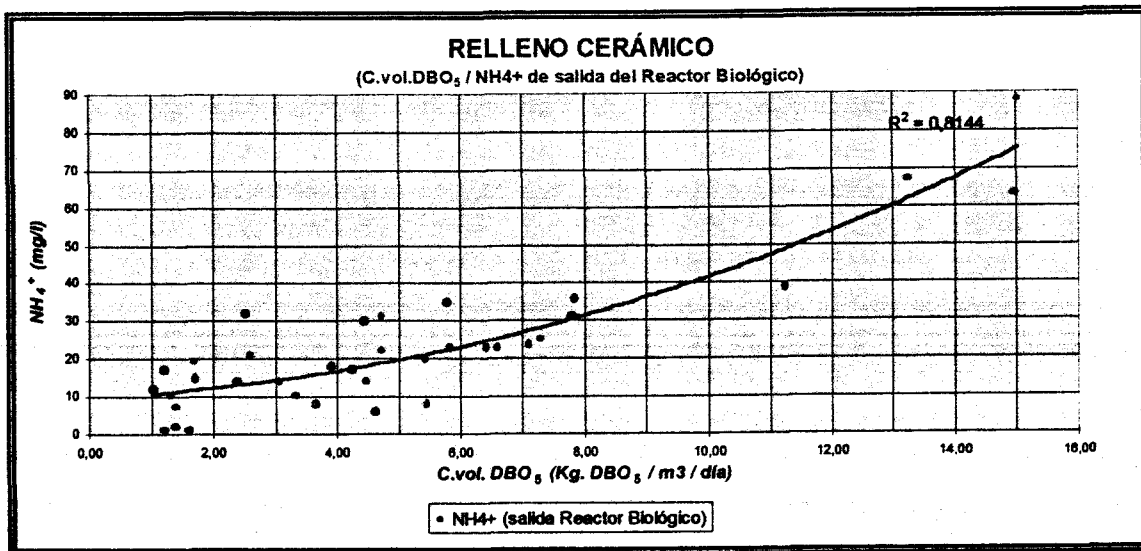
* -22,5264

* denota una diferencia estadísticamente significativa.



Finalmente, se acompaña un gráfico, que quiere mostrar la *influencia de la presencia de materia carbonada*, en el comportamiento de los procesos relacionados con la materia nitrogenada:

Fig.13.7.- Influencia de la presencia de materia carbonada en el nivel de nitrógeno amoniacal, a la salida del Reactor Biológico



14.1.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Atendiendo al estudio sistemático de los resultados, en el que se puede observar las interrelaciones de las distintas variables y parámetros, encaminando el estudio hacia los objetivos propuestos, se pueden enunciar las siguientes Conclusiones y Recomendaciones:

1) **Parámetros de diseño** para alcanzar las exigencias marcadas por la

Directiva 91/271 CEE:

1.1) La *altura* óptima de trabajo del Relleno Cerámico del Reactor Biológico estará comprendida entre 1,2 - 1,5 metros.

1.2) El parámetro de diseño C_s (*Carga superficial*) será menor o

igual a 7,6 Kg. DBO₅ / m² / día, y menor o igual a 6,5 Kg. SS / m² / día.

1.3) La *carga hidráulica*, para evitar arrastres de biopelícula, será menor de 1,27 m/h.

2) La *oxigenación* óptima de entre las estudiadas (11,2 Nm³ / m² / hora) reflejó, por Kg. DBO₅ eliminado, un consumo de 1,2 Kg. O₂, para la máxima carga de diseño.

3) Los *lavados* tienen un tiempo de espaciado en torno a 24 horas en el Reactor Biológico, presentando este valor un coeficiente multiplicador de 2, para el filtro de afino.

4) Como síntesis del comportamiento del *Relleno Doble Capa*, el flujo contra-corriente funcionó mejor que el co-corriente. Su aptitud para eliminar DBO₅ es probada, ya que el 100 % de las muestras de salida analizadas no superaron los 25 mg.DBO₅ / L. Tampoco superaron nunca los 26 mg.SS / L. Por tanto, sus resultados mejoraron a los Rellenos Cerámicos, sin llegar a ser estas diferencias estadísticamente significativas, en el caso de los SS.

5) El Filtro de Arena es responsable de un 8 % del rendimiento total en DBO_5 , pero este porcentaje depende exclusivamente de la concentración de entrada. Por contra, respecto a los SS, tiene gran relevancia su utilización, actuando de Afino del sistema, con un porcentaje superior al 10 %.

6) **Seguimiento de compuestos nitrogenados:** El Reactor Biológico promueve procesos nitrificantes. Sin embargo, la superficie necesaria para la carga superficial de diseño máxima de DBO_5 , implica una carga volumétrica de NH_4^+ de 1,45 y, para esta carga, se tienen 24 mg/L NH_4^+ de salida. Es decir, para lograr efectos realmente representativos, es necesario aplicar cargas volumétricas de NH_4^+ , incompatibles con las cargas volumétricas de DBO_5 que permiten conseguir un sistema de depuración compacto, objetivo principal marcado para esta investigación.

Durante el paso del agua residual a través del Filtro de Arena, progresan, en cierta medida, los procesos nitrificantes productores de nitratos, al tiempo que se aprecia una conversión paralela de nitrógeno orgánico en amoniacal, que se traduce en un aumento de la concentración de éste.

14.2.- LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

a) Se propone la creación de una línea de investigación consistente en el desarrollo de un sistema de lechos inundados que incorpore algún mecanismo que evite la necesidad del lavado. De este modo, no existirían interrupciones en la operación, al tiempo que se producirían ahorros en equipos y consumo energético.

b) El funcionamiento del Filtro de Arena se encuentra íntimamente relacionado con el del Reactor Biológico. Especialmente en lo que se refiere a la eliminación de DBO_5 , dos valores de entrada al Filtro de Arena no suponen dos salidas idénticas de este parámetro. Es decir, este hecho muestra que el criticismo del sistema frente al Reactor Biológico es muy importante, y el Filtro de Arena refleja, en cierta medida, su estado.

En definitiva, se propone una nueva investigación en la que se ensayasen condiciones de trabajo distintas a las establecidas en la presente, y comprobar en qué medida los resultados obtenidos en el Filtro de Arena, pueden tratarse con independencia del Reactor Biológico, e incluso verificar si los datos son aplicables al caso en que la superficie de paso de los dos biofiltros fuesen diferentes.

c) Se plantea otra nueva investigación, consistente en el diseño de un modelo matemático que permita predecir las necesidades de lavado. Entre las variables que participarían en su formulación, se encontraría la pérdida de carga en la longitud del filtro, pero también habría que considerar el estado de la biomasa, bien a través de medidas directas, como su densidad, grosor, etc., bien mediante medidas indirectas. Como medidas indirectas se entiende la elaboración de un modelo de predicción del estado de la biomasa, en función de distintas variables y parámetros que afectan al sistema.

Esta tarea ha de conducir al diseño de un nuevo esquema de la automatización de los lavados.

d) En base al seguimiento de los compuestos nitrogenados, se concluía la existencia de procesos nitrificantes. El inconveniente para conseguir alta eficiencia en la eliminación de nitrógeno amoniacal, radicaba en la incompatibilidad de este objetivo con sistemas compactos para eliminación de materia carbonada.

En definitiva, los resultados obtenidos fomentan la esperanza de conseguir una intensa nitrificación, en el caso de añadir una nueva etapa al conjunto del sistema utilizado en la presenta investigación.

e) Estudio comparativo de costes de este sistema, respecto a otros, que demuestre una mayor economicidad, por otra parte, intuita, y probada en situaciones con escasa disponibilidad de espacio para la implantación.

TITULO:

POST-DENITRIFICATION AT THE FRANKFURT-NIEDERRAD WASTEWATER TREATMENT PLANT BY FLUIDIZED-BED TECHNOLOGY

AUTOR:

H. Johannes Pópel and Werner Kristeller

FUENTE:

Wat. Sci. Tech. Vol. 35, No. 10, pp. 95-102, 1997.

PALABRAS CLAVE:

Upgrading of municipal treatment plants; advanced wastewater treatment; post-denitrification; fluidized-bed technology; application of methanol.

RESUMEN:

At both two-stage activated sludge treatment plants of the city of Frankfurt an almost complete nitrification is achieved. Upgrading of the plants is required to ensure denitrification. As an alternativa for implementing a solution according to the German ATV-Standard A 131 separata denitrification by an upflow fluidized-bed technology was thoroughly investigated on pilot plant seale. The results show, that a far-reaching denitrification can safely be obtained by this process. Equations for quantifying the volumetric denitrification capacity of the bed ($\text{kg ANl m}^3\text{-d}$) and the effluent nitrate concentration are derived for process design. The denitrification efficiency of the system, its benefits and disadyantages are discussed together with economical aspects. © 1997 IAWQ. Published by Elsevier Science Ltd

TITULO:

PRACTICAL EXPERIENCES WITH AEROBIC BIOFILTERS IN TMP (THERMOMECHANICAL PULPING), SULFITE AND FINE PAPER MILLS IN CANADA

AUTOR:

A. Kantardjieff and J. P. Jones

FUENTE:

Wat. Sci. Tech. Vol. 35, No. 2-3, pp. 227-234, 1997.

PALABRAS CLAVE:

Aerobic biofilter treatment; fine paper; pulp and paper wastewaters; sulfite mill effluents; TMP; toxicity.

RESUMEN:

An industrial aerobic biofilter technology has been piloted extensively in Canada on several types of pulp and paper mill effluents, resulting in one full scale operational facility at one Canadian fine paper mill. In addition two industrial scale pilot plant tests were performed with the same technology, one in an integrated sulfite pulp and paper mill and one in a TMP mill. In the case of the fine paper mill, the full scale plant has two cells (8 m x 8 m x 6 m height of the media) and treats an unclarified but screened effluent with a loading of 3500 kg BOD/d. The system produces low quantities of biosludge (0.28 kg TSS/kg BOD removed), has a rapid rate of recovery after shock loadings and is very energy efficient (150 kW installed power for aeration).

Pilot plant treatability studies were performed at one integrated Canadian sulfite mill using a combination of a biofilter-aerated lagoon system. The biofilter treated the most concentrated stream (sulfite pulp mill effluent) and this stream was then combined with the remaining wastewaters of the mill and polished in an aerated stabilization basin (ASB). The high quality ASB effluent (50 mg BOD/30 mg TSS/L) was non toxic to rainbow trout, *Daphnia magna* and photoluminescent bacteria.

Integrated TMP mill effluents were treated in a 5 m³ aerobic biofilter filled with two types of media (10 to 20mm and 20 to 30mm). Under average loading conditions of 3.5kg BOD/d.m³ media, the system produced effluents meeting regulation limits for BOD, TSS as well as for toxicity. © 1997 IAWQ. Published by Elsevier Science Ltd.

TITULO:

BIOFILTRACION AEROBIA CON FLUJO ASCENDENTE SOBRE SOPORTE MINERAL SUMERGIDO

AUTOR:

Gilles Carrand Ingeniero de Proyectos Degrémont Francia Claude Bonet Ingeniero Director Técnico Degrémont España

FUENTE:

II Congreso de Ingeniería Ambiental. PROMA Bilbao 91

PALABRAS CLAVE:

Agua residual, depuración biológica, biofiltración aerobia, ascendente, nitración, desnitrificación, defosfatación, medio ambiente global.

RESUMEN:

Las necesidades, cada vez más duras, de respetar el entorno global, a las cuales se añade el deseo de tratar el agua residual en un lugar lo más cercano posible de una fuente por razones de tratabilidad o de ahorro global, llevaron al desarrollo de reactores de cultivos ricos para tratar las contaminaciones carbonadas, nitrogenadas, y fosforadas.

Estos procesos permiten Nevar a Cabo nuevas plantas y también rehabilitar plantas antiguas, dándoles la seguridad del tratamiento.

Se describe brevemente el proceso con sus ventajas, apoyándose en algunos casos concretos.

TITULO:

ADVANCES IN BIOFILM AEROBIC REACTORS ENSURING EFFECTIVE BIOFILM ACTIVITY CONTROL

AUTOR:

V. Lazarova and J. Manem

FUENTE:

Wal. Sci. Tech. Vol. 29, No. 10-11, pp. 319-327.1994.

PALABRAS CLAVE:

Biofilm, biofilm reactor, aerobic water treatment, activity control, thickness control, reactor performance

RESUMEN:

Increasing volumes of wastewaters combined with limited space availability and progressively tightening standards and quality control, promote the development of new intensive biotechnologies for water treatment. Fixed biomass processes offer several advantages compared with conventional biological treatments, respectively, higher volumetric load, increased process stability and compactness of the reactors. The purpose of this paper is to present an overview of the principal characteristics of advanced aerobic biofilm processes (performance, reactor configurations, scale-up, energy consumption, field of application, etc.), completed by a synthesis of their advantages and disadvantages. Emphasis is placed on the factors and techniques ensuring effective control of biofilm thickness and better mass transfer.

For better understanding of biofilm processes, a new bioreactor classification is proposed as a function of the state of the biomass, the state of the medium and the hydrodynamic conditions. The control of the biofilm thickness is recognized as one of the most important parameters influencing process performance and efficiency. It is concluded that three-phase bioreactors ensure enhanced biological reaction rates through an effective biofilm control. However, further studies are needed to develop new economically attractive full scale mobile bed bioreactors.

TITULO:

BIOFILM REACTORS CONFIGURATION FOR ADVANCED NUTRIENT REMOVAL

AUTOR:

G. Ryhiner, K. Sorensen, B. Birou, H. Gros

FUENTE:

Water and Wastewater, Technology, Sulzer Chemtech Ltd, P.O.Box, CH-8404 Winterthur, Switzerland

PALABRAS CLAVE:

biofilm reactor, bioactive filter, nitrification, pre-nitrification, post-denitrification, P-removal

RESUMEN:

Characterization of a new biofilm reactors configuration was carried out on a pilot plant performing nitrification, pre- and post-denitrification. Thereby, degradation rate limitations whether there are related to mass transfer resistances, kinetic or stoichiometry were determined for the different stages.

The experimental results showed that under certain conditions moderate aeration of the predenitrification stage enhances both denitrification and organic carbon removal due to an acceleration of diffusion rates. Post-denitrification was limited by the addition of C-source exclusively, whereas nitrification was inhibited by elevated organic loadings as well as low temperatures.

The described system offers a certain flexibility concerning BOD removal in the predenitrification stage because of the potentiality of aeration as well as the possibility of recirculating nitrate very economically enabled by the small head losses in the systems. Furthermore, combination of pre- and post-denitrification with biofilm systems leads to economic and safe processes for advanced elimination of nutrients as nitrogen and phosphorus.

TITULO:

AEROBIC SUBMERGED BIOFILM REACTORS FOR WASTEWATER TREATMENT

AUTOR:

SIMÓN GONZÁLEZ-MARTÍNEZ and JAVIER DUQUE-LUCIANO

FUENTE:

Wat. Res. Vol. 26, No. 6, pp.825-833, 1992.

PALABRAS CLAVE:

aerobic biofilm, wastewater, nitrification, mathematical model

RESUMEN:

Treatment of wastewater from the campus of the National University of Mexico in a four-stage aerobic submerged biofilm reactor containing Pall-rings resulted in effluent with BOD values of less than 10 mg/l. The nitrification started in the first compartment and the reactor nearly achieved complete nitrification. The resulting biomass was filamentous and had good settling characteristics. Analysis of data indicated that the Stover-Kincannon and the variable order models can be used for the description and design of the process.

TITULO:

TERTIARY NITRIFICATION IN AERATED PILOT BIOFILTERS.

AUTOR:

M.Tschi, M.Boller, W.Gujer, J.Eugster, C.Mäder, C.Stengel.

FUENTE:

Swiss Federal Institute for Environmental Science and Technology (EAWAG).

PALABRAS CLAVE:

Biofilter, aerated filters, tertiary treatment, nitrification, temperature dependency, water velocity, air velocity.

RESUMEN:

Three different types of internally aerated pilot scale biofilters were operated as tertiary nitrification systems. Long-term performance of the three aerated biofilters was tested under various operating conditions. The maximum volumetric nitrification rates under non NH₄-limiting conditions for the three aerated biofilter systems were investigated. Based on measured temperature dependencies, an exponential relationship was established enabling the prediction of the nitrification rates at desired temperatures. Based on a temperature of 10°C the results allow a comparison between the surface and volume specific nitrification rates in the

tested biofilters as a function of the NH_4 effluent concentration.

As shown by experiments, nitrification performance depends on water as well as air velocities in the filter. Higher velocities of both, air and water, increase the nitrification rate. However, they also increase the head loss and thus decrease the filter run time. Therefore, the optimal operating conditions depend also on the filter media and the required effluent quality.

Compared to fully O_2 -limiting operating conditions, nitrification performance during a period under partially NH_4 -limiting conditions clearly decreased in all tested biofilters.

TITULO:

BIOFILTRATION WITHOUT BACKWASHING.

AUTOR:

Geoff Amblin, is Principal Engineer with Montgomery Watson.

FUENTE:

3rd International IAWQ Special Conference on Biofilm Systems (Copenhagen, 1.996)

RESUMEN:

Successful as they are, biofilter reactors need regular backwashing to remove excess sludge and prevent clogging, requiring large pumps and blowers (i.e. extra investment and energy costs) and a storage tank for backwashing water. Furthermore, the sludge in the backwashing water requires settling and thickening before it can be handled further.

In response to these points, Meyn Water Treatment and Delft University of Technology have developed a downflow biofilter that avoids the need for backwashing by using a simple and continuous separation of excess sludge.

TITULO:

FILTRACION EN CONTINUO. Un camino hacia la reutilización y la potabilización

AUTOR:

Sergi Sugranyes i Palet. Ingeniero de Caminos, Canales y P. Erena Estrada Sastre. Licenciada en Geología

FUENTE:

Tecnología del agua (nº101; Octubre de 1.992)

PALABRAS CLAVE:

Agua potable, filtracion, continua.

RESUMEN:

Hasta el momento, los sistemas de filtración convencionales presentaban el insalvable inconveniente de tener que interrumpir el proceso para el lavado de lecho de arena.

El desarrollo comercialización de un sistema que permita la filtración en continuo, simultaneándola con el lavado, es un paso adelante de una importancia innegable. Este proceso garantiza la obtención, de forma constante, de un caudal con una calidad optima, reduciendo además los equipos necesarios, el espacio para la implantación, la cantidad de reactivos a utilizar, así como, los costos de explotación y manteni-miento.

TITULO:

BIOFILTERS: FLEXIBLE, RELIABLE BIOLOGICAL REACTORS.

AUTOR:

R. Pujol, M. Hamon, X. Kandel and H. Lemmel

FUENTE:

Wat. Sci. Tech. Vol.29, No. 10-11, pp.33-38. 1994.

PALABRAS CLAVE:

Up-flow biofiltration, Wastewater, Biological treatment, Chemical treatment, Nitrification, Denitrification, Carbon removal, Phosphorus removal.

RESUMEN:

More than fifty wastewater treatment plants worldwide (representing several millions p.e) are equipped with up-flow biofiltration reactors. Their range of application encompasses municipal as well as industrial wastesater. A summary of the results achieved in a large number of plants is presented, accompanied by a description of the operating parameters and the tratament limitations with regard to various pollutants (C, N, P). The separation of functions into specific reactors combined with optimized wash conditions guarantees high treatment efficiency.

TITULO:

THE USE OF SUBMERGED STRUCTURED PACKINGS IN BIOFILM REACTORS FOR WASTEWATER TREATMENT

AUTOR:

G. Ryhiner, B. Birou and H. Gros

FUENTE:

Wat. Sci. Tech. Vol.26, No. 3-4, pp.723-731, 1992.

PALABRAS CLAVE:

Biofilm reactors; Structured packings; COD-removal; Nitrification

RESUMEN:

Structured packings are utilized as biomass carriers in new types of biofilm reactors. These systems have been tested and characterized for a wide range of applications, e.g. carbonaceous and nitrogenous Pollution removal of domestic wastewater, purification of industrial effluents, etc. Their efficiency is discussed in terms of eliminated loads and suspended solids retention, as well as with respect to the factors influencing the costs of operation: head loss, backwash frequency, sludge water production. Design considerations of full scale units include both process-related parameters and technological aspects.

TITULO:

BIOCARBONE AERATED FILTERS - TEN YEARS AFTER: PAST, PRESENT,

AND PLENTY OF POTENTIAL.

AUTOR:

F. Rogalia and J. Sibony

FUENTE:

Wat. Sci. Tech. Vol.26, No.9-11, p.p. 2043-2048, 1992.

PALABRAS CLAVE:

Bicarbono Aerated Filters, Biofilm Process, Countercurrent Backwash, Nitrogen Removal, Plant Upgrading, Downflow Filtration, Sludge Production, Energy Consumption

RESUMEN:

About ten years ago, the first full scale Bicarbonate aerated filter went into service in Soissons (France) for a capacity of 40 000 population equivalents. This compact wastewater treatment system combines aerobic biodegradation and filtration in one unit, eliminating the need for clarifiers and achieving high removal rates through fixed biomass. Since, a number of independent investigations have been performed to establish dimensioning criteria and process performance. This article summarises the reports of the US EPA, the Japanese JSWA, and the British WRC, as well, as experiences acquired by cities and water authorities.

In pilot and demonstration scale, reactor kinetics, sludge production and energy consumption was measured. Most reports agree on removal rates up to 4 kg BOD/m³ d or nitrification rates around 0.6 kg N/m³.BOD removed. Sludge yields ranged consistently around 0.8 kg SS / kg BOD removed, but oxygen transfer measurements varied from 7% to 15%. Full scale experience confirms these values, and operation results from large plants in North America are given.

Several examples of using the Bicarbonate process for low pollution residuals are demonstrated, including plants in Britain, Denmark and Switzerland. As tertiary installation fed with secondary effluent, final residuals below 1 mg/l N-NH₄ and 5 mg/l for SS and BOD can be achieved in a hydraulic detention time around one hour. On settled sewage, two hours detention time results in advanced secondary effluent quality below 5 mg/l N-NH₄ and around 10 mg/l for BOD and SS. If an anoxic reactor is added, total nitrogen residuals below 10 mg/l can be achieved in about three and a half hours.

TITULO:

BIOLOGICAL AERATED FILTERS: ASSESSMENT OF THE PROCESS BASED ON 12 SEWAGE TREATMENT PLANTS

AUTOR:

J. P. Canler and J. M. Perret

FUENTE:

Wat. Sci. Tech. Vol.29, No.10-11. pp.13-22, 1994.

PALABRAS CLAVE:

Biological aerated filters, Filtration process, operating conditions, Performance levels, Wastewater treatment,

RESUMEN:

Biological aerated filtration is a recent and intensive process which has been greatly developed over the last few years. It is a technology based on biological processes with certain advantages, in particular the absence of secondary clarifiers, the modular nature and the wide variety of treatment applications. The monitoring of a dozen medium capacity (7,500 to 150,000 p.e.) plants designed to treat organic pollution, has enabled us to evaluate the process and its performance.

The results obtained show that at applied load of less than 7 Kg of COD, the effluent is of satisfactory quality (< 90 mg/l of COD) and that the process has a high efficiency to remove suspended solids.

Numerous other aspects have been studied and the data collected confirm the [potencia] of this process, which nevertheless requires a careful and regular system operation procedure.

TITULO:

TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE AGUAS RESIDUALES URBANAS POR BIOFILTRACIÓN SOBRE MATERIAL GRANULOSO Y NITRIFICACIÓN SOBRE SOPORTE SUMERGIDO

AUTOR:

H. Gros. Sulzer Freres y J. Alvarez, Sulzer España. S.A.

FUENTE:

Tecnología del agua (nº86; Septiembre de 1.991)

PALABRAS CLAVE:

Agua residual, biofiltración, relleno, nitrificación, desnitrificación.

RESUMEN:

Para la ampliación de su estación de depuración de aguas residuales, la ciudad de Ginebra se propone utilizar las nuevas técnicas de biomasa fijada, que permiten reducir el ruido, olores, etc., y la superficie necesaria para el tratamiento de las aguas. Sulzer Freres S.A. ha puesto en marcha a principios de 1988 una instalación piloto a escala 1:1 para depurar en dos etapas en línea hasta 63 m³/h de agua residual preclarificada. Un biofiltro de lecho granulado degrada el carbono orgánico y filtra las materias coloidales, sin aireación. La biomasa fijada sobre el material sintético sumergido con estructura tridimensional del segundo filtro, nitrifica el efluente del biofiltro gracias a una aireación a contra corriente. La recirculación de una parte del efluente del filtro nitrificante lleva al biofiltro el oxígeno y los nitratos necesarios para la oxidación de las materias orgánicas. Después de un año de explotación, los resultados obtenidos (más de un 85% de eliminación de DBO y un efluente con contenido menor de 3 mg/l. de NH₄-N y 20 mg/l de MES) han probado la eficacia y la fiabilidad del proceso Sulzer.

TITULO:

PERSPECTIVAS DE LOS FILTROS BIOLÓGICOS SUMERGIDOS FRENTE A LA NUEVA DIRECTIVA EUROPEA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES URBANAS.

AUTOR:

GILLES BACQUET y FRANK ROGALLA

FUENTE:

II Congreso de Ingeniería Ambiental. Bilbao 91

PALABRAS CLAVE:

Directiva Europea, Filtros Biológicos Sumergidos, Biocarbón Biostyr, Tratamiento Secundario, Tratamiento Terciario, Explotación.

RESUMEN:

Mientras la Comunidad Europea define normas más estrictas para el tratamiento de las aguas residuales urbanas, la tecnología de los filtros biológicos sumergidos ya tiene un papel internacional.

El proceso Biocarbón ha demostrado su capacidad para el tratamiento secundario así como la nitrificación o el tratamiento completo del nitrógeno. Asimismo, la compactación del filtro facilita su implantación y su integración en el entorno.

El nuevo filtro biológico sumergido Biostyr, aprovechando las ventajas del Biocarbón, ofrece nuevas perspectivas para la eliminación completa del nitrógeno con un sistema de explotación más sencillo y económico por medio de un material soporte sintético flotante.

TITULO:

FIRST MONTHS OPERATION OF TWO BIOFILTER PROTOTYPES IN THE WASTE WATER PLANT OF ACHÈRES

AUTOR:

B. Vedry, C. Paffoni, M. Gousailles and C. Bernard

FUENTE:

Wat. Sci. Tech. Vol.29. No. 10-11, pp. 39-46. 1994.

PALABRAS CLAVE:

Nitrification; biofilter, storm weather, tertiary treatment

RESUMEN:

In order to preserve the River Seine against point discharge of secondary effluent, the purification plant of Achères is building a tertiary step to nitrify and polish

secondary effluent by biofiltration, the dry weather flow of which reaches 2 100 000 m³/day.

Two biofilter prototypes, Biofor and Biostyr, have been created to test their performances in a wide range of operating conditions, especially in the case of storm water. First results show that a removal of 0,8 kg NNH₄/m³.d, corresponding to a Global Oxygen Demand removal of 5.5 kg O₂/m³.d, can be achieved by Biofor at a temperatura of 14°C.

The Biostyr prototype brought later into service has not yet enough results to draw clear conclusions. Nevertheless the first data during May 1993 (temperatura 18,5°C) are also very promising.

TITULO:

FILTROS BIOLÓGICOS AIREADOS: UN PROCESO BIOLÓGICO ALTERNATIVO Y ATRACTIVO.

AUTOR:

R.Pujol, J.P.Canler y A.Iwema.

FUENTE:

Wat. Sci. Tech. Vol.26, No.3-4, pp.693-702,1902.

PALABRAS CLAVE:

Biological aerated filters, wastewater treatment, biological process, filtration, operation conditions.

RESUMEN:

Biological aerated filters are a new stage in the intensification of biological sewage treatment processes. They complete the existing range of processes, especially when site constraints make implementation of conventional processes difficult.

A technical evaluation of eight full scale plants (4 up flow processes and 4 down flow processes) has been realized resulting in about a hundred data days. They showed the production of an excellent effluent quality for specific loads below 6 kg COD/m³. day. This process revealed insensitive to load shocks. Specific sludge production and specific energy consumption are comparable to those of

convencional activated sludge processes.

TITULO:

BIOFILTRACION AEROBIA CON FLUJO ASCENDENTE SOBRE SOPORTE MINERAL SUMERGIDO

AUTOR:

G.CARRAND, Degrémont (Francia)
C.BONEF, Degrémont (España)

FUENTE:

Ingenieria quimica-Ocutbre 1992.

RESUMEN:

Se describe un reactor basado en el principio de la biofiltración aerobia ascendente sobre un soporte inineral sumergido y se muestran los resultados obtenidos en tres ensayos piloto realizados en tres instalaciones situadas en diferentes ciudades.

TITULO:

THE TREATMENT TRILOYGY OF FLOATING FILTERS: FROM PILOT TO PROTOTYPE TO PLANT

AUTOR:

H. Toettrup, F. Rogalla, A. Vidal and P. Harremoes

FUENTE:

Wat. Sci. Tech. Vol.29. No.10-11, pp.23-32.1994.

PALABRAS CLAVE:

Nitrification, Denitrification, Biofilm Reactor, Upflow Filter, Filtration, Tertiary Treatment, Upscaliig, Biofilm Kinetics, Diffusion.

RESUMEN:

The basic kinetic expressions developed in non-aerated biofilms, (denitrification and RBCs) were verified on granular floating media in aerated filters. The limiting parameters of biofilms were verified on a small scale lab unit, using wastewater and media from full scale. It could be shown that the observed relationships corresponded to theoretical expectations and half-order kinetics as well as the significant constants were established. Maximum surface removal rates were measured as 1.7 g N-NH₄/m² d for nitrification, and the most limiting parameter was a half-order oxygen concentration close to saturation.

Similar kinetics as on small scale were observed on a full-scale prototype of a new floating aerated biofilter, which can be used for both nitrification and denitrification, as well as complete nitrogen removal from settled wastewater in one reactor. The mixed biofilm nitrified 15% less than pure tertiary treatment, and 20 % performance was lost between lab and full scale, due mainly to aeration limitations. Also, 35% lower denitrification rates were observed between ethanol and sewage as carbon source, but addition of ethanol raised the full-scale performance to nitrate removal rates of 1,4 g N-NO₃/m² d.

After pilot testing and fullscale demonstration, the process was implemented on several treatment plants, one of which was located in Denmark, to achieve nitrogen residuals below 8 mg TN/l. This plant uses 8 filters of 63 m² to treat 12000 m³/d, and the biological reactor occupies a surface similar to the existing conventional primary settler. The results of the first few months of operation are given: as long as the ratio between biodegradable COD and total nitrogen at the filter inlet is above 5, nitrogen removal of 80 % is achieved.

TITULO:

PARAMETERS AFFECTING NITRIFYING BIOFILM REACTORS.

AUTOR:

M. Bolier, W. Gujer and M. Tschui

FUENTE:

Wat. Sci. Tech. Vol.29, No.10-11, pp.1-11.1994.

PALABRAS CLAVE:

Biofilm, nitrification, trickling filter, rotating biological contactor, biofilter, tertiary treatment.

RESUMEN:

The variables affecting nitrification in biofilms are identified on a theoretical basis. The influence of various design and operational parameters which affect the resulting substance fluxes into and out of the biofilm and the biomass activity regarding nitrification are illustrated with the help of experimental investigations with plastic media trickling filters, rotating biological contactors and different aerated biofilters. The results of experiments with these systems in tertiary nitrification applications reveal process limitations and technical measures to enhance nitrification performance in each system. In a case study, a comparison between the different biofilm processes and activated sludge alternatives showed that biofilm systems may lead to remarkably smaller reactor volumes, but high energy consumption due to unfavorable oxygen utilization.

TITULO:

BIOFILM REACTORS: A COMPACT SOLUTION FOR THE UPGRADING OF WASTE WATER TREATMENT PLANTS.

AUTOR:

P. Sagberg, P. Dauthuille and M. Hamon

FUENTE:

Wat. Sci. Tech. Vol. 26, No. pp.733-742.1992

PALABRAS CLAVE:

Urban sewage water. Fixed film reactor. Biofiltration, Upgrading. VEAS concept, Nitrification, Denitrification, Chemical phosphate removal.

RESUMEN:

In order to obtain compact plants and to assure a greater treatment reliability, fixed film reactors have been developed. This biofiltration has been applied and proved for over a decade for carbon removal. Today, new applications appear in

nitrogen and phosphate removals, which are able to respond to the upgrading of aging waste water treatment plants. Full scale plant results are presents in nitrification. The use of two etages of biofilm reactors (C + N) permits high effluent quality. Chemical phosphate removal and denitrification results obtained on pilot tests are also discussed. Some plants are now been built with such processes. The VEAS concept, in Oslo, which includes four steps of fixed film reactora is discussed as an exemple of this present upgrading tendency.

TITULO:

MODIFIED POLYURETANE CARRIERS FOR THE BIOCHEMICAL WASTE WATER TREATMENT

AUTOR:

Imre Pascik, Bayer AG.

FUENTE:

Congreso "Biofilm Reactors" de la IAWQ (París; 1.992)

PALABRAS CLAVE:

Immobilization of microorganisms, biological waste water treatment, modified polyurethane carriers.

RESUMEN:

For aerobic and anaerobic waste water treatment, modified porous polyurethane carriers with different ionic charges and surface activities have been synthesized in order to investigate the relations between their material properties and biodegradation efficiency.

It has been found that the modified carriers are more effective than the nonmodified equivalents. Continuous anaerobic experiments in the laboratory and on pilot plant scale have shown that the use of this type of carrier leads to higher degradation rates and process stability in the treatment of persistent bleaching effluents obtained in sulphite pulp production.

TITULO:

SUBMERGED BIOFILM PROCESS AS A PRE-TREATMENT OF POLLUTED RAW WATER FOR TAP WATER SUPPLY.

AUTOR:

M. Takasaki, H. Kim. A. Sato
M. Okada and R. Sudo.

FUENTE:

Congreso "Biofilm Reactors" de la IAWQ (París; 1.992)

PALABRAS CLAVE:

Water; pre-treatment for tap water; submerged biological carrier; pilot plant; eutrophic lake.

RESUMEN:

Submerged biofilm process is one of water pretreatment systems. General treatment performance and factors to control removal efficiency are trough pilot plant scale experiment for the four different lakes. Raw water quality of BOD are approximately under 10 mg/l and ammonium nitrogen was about 80 % when it can get the complete mixing condition easily, and did not receive rapid change of raw water quality. Ammonium nitrogen removal under adverse circumstance of low water temperature in winter to spring, the biofilm removal ratio has indicated as 60 to 80 %.

Critical removal value of ammonium nitrogen was observed approximately, 0.01 to 0.02 mg/l and moderate decrease of E_{260} was also recognized through the experiment. General treatment performance were superior to the carrier which is not like occur plug.

TITULO:

UPGRADING AND NITRIFICATION BY SUBMERGED BIO-FILM REACTORS - EXPERIENCES FROM A LARGE SCALE PLANT.

AUTOR:

T.H. Lessel.

FUENTE:

Wat. Sci. Tech. Vol.29, No.10-11, pp.167-174, 1994.

PALABRAS CLAVE:

Waste water treatment; upgrading; nitrification; submerged bio-film; reactors; Ring-lace material.

RESUMEN:

The upgrading and nitrification was a requirement in 1986 for the conventional sewage treatment plant Geiselbullach, west of Munich, Germany, designed for 250 000 inhabitants equivalents. The possibility was tested to use submerged bio-film reactors in the aeration tanks to increase the MLSS concentration. Half-scale experiments were undertaken with three different reactor types. A rope type material, called Ring-lace® was selected for the large-scale application, because it did not produce anaerobic sludge deposits, as the other tested reactor types did. The design criterio had to be developed. The process operation started in January 1988; a few months later the phosphorus removal by chemical precipitation was also put into operation. After stable conditions were assured the concentration of the MLSS could be increased to about 10 g/l, due to sludge volume indices of about 50, formerly 180 to 300. A nearly complete nitrification was achieved, which could even be continued in winter times at water temperaturas of 8 to 10°C.

Many highly developed microorganisms in the sessile sludge occurred (nematodes, tubifex...), which grew excessively under certain conditions and reduced the normal bacteria to unacceptable low quantities. A worm cure could reduce the worms to acceptable counts. Problems with the longtime stability of the material arose and were investigated.

TITULO:

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES POR LA ADHESION DE MICROORGANISMOS EN SOPORTES DE GEOTEXTILES.

AUTOR:

G. VALENTIS. J. IESAVRE.

FUENTE:

Congreso "Biofilm Reactors" de la IAWQ (París; 1.992)

PALABRAS CLAVE:

Attacted-growth, micro-organisms. geotextile, stibmerged bed, particulate loading.

RESUMEN:

El soporte de geotextil se ha utilizado para el tratamiento de aguas residuales por procedimientos aeróbicos, mediante la fijación y crecimiento de microorganismos. El geotextil es un inedio de fácil aplicación y operación en plantas de tratamiento en comparación con biofiltros granulares. La colonización del medio seleccionado tiene lugar en una planta piloto de 0,75 m². El proceso no necesita clarificador secundario. El reactor trabaja en ciclos que varían entre 2 y 12 días interrumpidos por un lavado con agua y aire. La máxima eficiencia, rqedida como carga volumétrica de entrada, es sobre 7 kg DQO/m³.d. Bajo estas condiciones un ciclo de 3 a 4 días asegura un efluente de calidad "e" (SST 30 mg/l, DQO 90 mg/l, DBO; 30 mg/l). Se pueden distinguir dos fases durante la operación del sistema: una fase A, en la que la biomasa y los sólidos en suspensión se fijan en el geotextil y otra fase B en la que el geotextil está saturado por lo que se necesita un lavado.

TITULO:

DEPURACION DE AGUAS RESIDUALES CON UN REACTOR BIOPELICULA

AUTOR:

J.A. Jacome, E. Eguia y T. Vidart, J.I. Tejero

FUENTE:

Ingenieria quimica. Enero 1995.

RESUMEN:

Este artículo describe un estudio realizado sobre la eliminación biológica simultánea de carbono y nitrógeno utilizando una biopelícula de población mixta desarrollada en un reactor biopelícula de soporte permeable (RBSP) a escala de laboratorio. El medio soporte de la biopelícula lo constituyó una membrana de politetrafluoretileno (PTFL o teflón) hidrófobo permeable a gases. A través del soporte se alimentó oxígeno puro a la biopelícula en contracorriente con los sustratos disueltos aportados desde el agua residual. Los rendimientos máximos en eliminación de carbono y nitrógeno alcanzaron 94% y 46% respectivamente. La biopelícula alcanzó grandes espesores: entre 1 y 3,5 mm, así como altas densidades: entre 87 y 105 kg/m³.

TITULO:

TREATMENT OF DAIRY WASTEWATER IN A NOVEL MOVING BED BIOFILM REACTOR

AUTOR:

B. Rusten, H. Odegard and A. Lundar

FUENTE:

Wat. Sci. Tech. Vol.26, No.3-4. pp.711. 1992.

PALABRAS CLAVE:

Dairy wastewater, moving bed biofilm reactor; pilot-scale; aerobic; high-rate.

RESUMEN:

A novel moving bed biofilm reactor has been developed, where the biofilm grows on small, free floating plastic elements with a large surface area and a density slightly less than 1.0 g/cm³. The specific biofilm surface area can be regulated as required, up to a maximum of approximately 400 m²/m³. The ability to remove organic matter from concentrated industrial effluents was tested in an aerobic pilot plant with two moving bed biofilm reactors in series and a specific biofilm surface area of 276 m²/m³. Treating dairy wastewater, the pilot-plant showed 85% and 60% COD removal at volumetric organic loading rates of 500 g COD/m³h and 900 g COD/m³h, respectively. Based on the test results, the moving bed biofilm reactors should be very suitable for treatment of food industry effluents.

TITULO:

BEHAVIOUR OF AN ANAEROBIC/AEROBIC PILOT SCALE FOR THE REMOVAL OF CARBON AND NITROGEN

AUTOR:

F. Fdez-Polanco, F. J. Real and P. A. Garcia

FUENTE:

Wat. Sci. Tech. Vol. 29, No. 10-11, pp. 339-346.1994.

PALABRAS CLAVE:

Municipal Wastewater Treatment, Fluidized Bed Reactor; Nitrification, Denitrification.

RESUMEN:

Description of a pilot installation for municipal wastewater treatment. The simultaneous elimination of organic carbon and nitrogen carried out by a fluidized bed reactor with aerobic and anaerobic areas.

The presentation of experimental results corresponding to a model of the flow and behaviour of the above mentioned elimination of organic material and nitrogen. Presentation of information concerning the characteristics of COD, N-NH₃, N-NO_x, pH, Redox Potential and D.O. throughout the reactor.

Levels of purification reached: COD_s>80%, (BOD5)_s>90% N-TKN>80%, N--N_{Total}>70%.

TITULO:

SCALE-UP AND BIOMASS HOLD-UP CHARACTERISTICS OF BIOLOGICAL FLUIDIZED BED REACTORS

AUTOR:

I. Ozturk, M. Turan and A. H. Idris

FUENTE:

Wat. Sci. Tech. Vol.29, No.10-11, pp.353-360, 1994.

PALABRAS CLAVE:

Anaerobic fluidized bed reactor, scale-up, scale-down, the theory of similarity, biomass hold-up, bed porosity.

RESUMEN:

This paper presents a comprehensive study results on scale-up and biomass hold-up characteristics of biological fluidized bed reactors (BFBR). The overall objective of this study was to establish and test some basic design criteria for the scaling-up or scaling-down of anaerobic fluidized bed reactors. A 12.5 l laboratory-scale fluidized bed was designed and constructed based on a geometrically similar 70 l pilot scale fluidized bed and the process performances were compared. Biomass hold up characteristics of the BFBRs were also investigated during the experimental studies. A general expression was developed for predicting the biological fluidized bed porosities. Using this expression, both the local and overall fluidized bed porosities could be predicted depending on biofilm thickness, expansion coefficient, media diameter and density. The validity of this expression was tested with the data from this study.

TITULO:

HIGH NUTRIENT REMOVAL IN THE 3-SLUDGE SEWAGE-TREATMENT SYSTEM RESULTS AND ECONOMIC-EVALUATION

AUTOR:

Marsman-EH Roeleveld-PJ Rensink-JH

FUENTE:

Water science and technology. 1997, Vol.35, Iss 10, pp 129-136

PALABRAS CLAVE:

3-Sludge Sewage Treatment System; High Loaded Biological Phosphorus Removal; Nitrifying Biofilm Reactor; Denitrifying Biofilm Reactor; Compact; High Load; Economical Competing.

RESUMEN:

The Three-sludge sewage treatment system proved to be a stable process for the treatment of wastewater. This new concept consists of three separated bioreactors. Biological removal of phosphorus and COD takes place in the first high loaded activated sludge bioreactor with an intermediate settler. The second reactor is a nitrifying biofilm reactor. Nitrate is removed in the third denitrifying biofilm reactor. Pilot plant research (scale 2-3 p.e.) showed that at a constant flow rate during night and day a minimal hydraulic retention time of 10.4 hours, inclusive, the settler, could be obtained and yet still the stringent effluent standards (10 mg Nil and 1 mg P/l) were met. At a dynamic flow rate with day/night rhythm and at a storm-weather peak flow rate of 2.5 times the dry weather flow rate the standards were still met. However, at a flow rate of three times the dry-weather flow rate the concentration of P-total increased which indicates instability of the dephosphatating bioreactor under the set process conditions. The nitrification and the denitrification capacity remained excellent. The economical evaluation showed that the Three-sludge sewage treatment system can compete with conventional low loaded activated sludge plants in The Netherlands. Moreover, this advanced technology only occupies 40% of the space of conventional plants. (C) 1997 IAWQ. Published by Elsevier Science Ltd.

AUTOR:

Chua-H Yu-PHF

FUENTE:

APPLIED BIOCHEMISTRY AND BIOTECHNOLOGY.1997, Vol 63-5, Iss SPR, pp 669-676.

PALABRAS CLAVE:

Aerobic Biofilm Reactor; Recirculation Rate; High-Strength Waste Water; Treatment Performance; Mixing; fixed film reactors

RESUMEN:

Four 3-L aerobic biofilm reactors (ABR1, 2, 3, and 4) treating a high-strength food-processing waste water (10 g chemical oxygen demand [COD] /L) were subject to reactor liquor recirculation rates of 1, 3, 15, and 30 L/h, respectively. Treatment performance in term of COD removal rates of ABR1, 2, and 3 were similar at hydraulic loads of 2.0 g COD/L/d and below. At higher organic loads,

ABR3 could achieve a COD removal rate that was over two times higher than that of ABR1 and 2. ABR3 could be operated at a maximum organic load that was two times higher than that of ABR1 and 2. ABR4 experienced a biofilm sloughing from the packing medium at the beginning of operation. Tracer studies showed that recirculation rate of 1 L/h resulted in a plug-flow pattern in the packed bed of the reactor. On the other hand, recirculation rate of 15 L/h, which was equivalent to recirculating the reactor liquor five times per hour, provided effective mixing in the packed bed. Superior performance of ABR3 was attributed to the effective recirculation of reactor Liquor, which diluted and distributed the influent, particularly the oil and grease components.

TITULO:

Evaluation of Tertiary Filtration and Disinfection Systems for Upgrading High-Purity Oxygen-Activated Sludge Plant Effluent

AUTOR:

Kuo-JF Dodd-KM Chen-CL Horvath-RW Stahl-JF

FUENTE:

WATER ENVIRONMENT RESEARCH. 1997, Vol 69, Iss 1, pp 34-43

PALABRAS CLAVE:

Chlorine; Disinfection; Filtration; Reuse; Tertiary Treatment; Ultraviolet; waste-water; size.

RESUMEN:

The Joint Water Pollution Control Plant (JWPCP) of the Sanitation Districts of Los Angeles County provides advanced primary and partial secondary treatment for 15.3 m³/s (350 MGD) of wastewater. A 7-mo pilot plant study evaluated several tertiary treatment alternatives for in-plant water reuse. The influent to the tertiary treatment system was the high-purity oxygen-activated sludge plant effluent. Three filtration systems were evaluated: a deep-bed anthracite filter, a shallow-depth pulsed-bed sand filter, and a continuous backwash deep-bed sand filter. Chlorination and ultraviolet (UV) disinfection were also compared. All three filters were capable of consistently meeting the State of California's effluent turbidity limit. The differences in turbidity removal efficiencies were insignificant. Changes in hydraulic loading rate, up to 0.2 m³/m² . min (5 gpm/ft²), had insignificant

effects on the quality of all filter effluents when filtering normal secondary effluent. The effect of chemical filter-aids on turbidity removal depended strongly on the characteristics of the filter influent and the filter design configuration. Breakthrough of alum might occur with an excessive dosage of alum. The estimated costs for filtering the secondary effluent by the three filters were similar. A high-UV dose of 300 mW-s/cm² would be required to reduce the total coliform concentrations less than or equal to 2.2 MPN/100 mL, mainly because of the low UV transmittance (40-63%). The 2.2 MPN/100 mL coliform standard could be met either by a chlorine residual of 5 mg/L with a contact time of 120 min or 10 mg/L for 60 min.

TITULO:

HORIZONTAL SUBSURFACE FLOW SYSTEMS IN THE GERMAN-SPEAKING COUNTRIES - SUMMARY OF LONG-TERM SCIENTIFIC AND PRACTICAL EXPERIENCES - RECOMMENDATIONS

AUTOR:

Geller-G

FUENTE:

WATER SCIENCE AND TECHNOLOGY. 1997, Vol 35, Iss 5, pp 157-166

PALABRAS CLAVE:

Constructed Wetlands; Horizontal Flow; Phragmites; Planted Soil Filters; Reedbed System; Sand Filter

RESUMEN:

There are now more than 15 years of experience with horizontal subsurface flow systems in the German speaking countries, covering the results of research projects and also that of practical daily maintenance. Till now some 50 - 100 horizontal flow systems with more than 50 pe in the German speaking countries are built. Approximately half of these use sand as filter material. The results show that the purification efficiency of these systems is in the order of that of good working conventional sewage plants, not only for BOD₅ and GOD, but also for nitrogen and phosphorus. Very high elimination efficiencies far better than 90% for BOD, COD and P are easily possible; similarly for elimination of N, when loading

rates are below 20 mm/d, or the area is larger than 10 m²/pe. Generally there seem to be few problems with winter time and with clogging. The operation of these systems is easy and inexpensive. In nearly all reed beds Phragmites was predominant after a few years. For the planting of Phragmites an easy method using halm-cuttings is given. The long term experience with the reported systems allows us to give recommendations for design, construction and maintenance. (C) 1997 IAWQ.

TITULO:

THE DESIGN AND PERFORMANCE OF A NITRIFYING VERTICAL-FLOW REED BED TREATMENT SYSTEM

AUTOR:

Cooper-P Smith-M Maynard-H

FUENTE:

Water science and technology. 1997, Vol 35, Iss 5, pp 215-221

PALABRAS CLAVE:

Reedbeds; Vertical-Flow Systems; Nitrification; Design; Performance; Ammonia Oxidation; Saline Waste-Water; Dosing/Distribution

RESUMEN:

The paper describes the design, construction and the monitoring of a vertical-flow Reed Bed Treatment System (RBTS) which achieves tertiary nitrification of the effluent from a biological filter, treating the sewage flow from a population of about 200 people. It treats the flows from toilets, kitchen laboratories and a saline wastewater. The RBTS system takes effluent from an old biological Biter and produces a nitrified effluent from a two-stage intermittently-dosed system. The paper shows the long-term performance of the system over a 4 year period and also describes experiments to assess the nitrification performance using a step-feed of ammonium nitrate solution. The system shows a removal of 8-13 g NH₄-N/m³ of bed day. The design basis is shown and the operational features described. (C) 1997 IAWQ. Published by Elsevier Science Ltd.

TITULO:

LONG-TERM PERFORMANCE OF THE SAND-PLANT-FILTER SCHATTWEID
(SWITZERLAND)

AUTOR:

Schonborn-A Zust-B Underwood-E

FUENTE:

Water science and technology. 1997, Vol 35, Iss 5, pp 307-314

PALABRAS CLAVE:

Human Waste Treatment Concept; Constructed Wetland; Sand Filter; Plant Filter;
Hydraulic Conductivity; Cod; NH₄-N; Total-P; Iron Leakage; Low Load Conditions

RESUMEN:

The human waste concept of the Centre for Applied Ecology Schattweid, Switzerland combines treatment of feces in compost toilets and a constructed wetland for the liquid wastes. The wastewater of 5.1 population equivalents (greywater and urine) is treated in a two chambered settling tank followed by an underground vertical flow sand filter and a horizontal flow constructed wetland. The wastewater system has been in operation since 1985. Its performance has been monitored on COD, NH₄-N, NO₃-N, NO₂-N. Total-P and Total-N almost monthly since then, and on other parameters (Total-Fe, Cl) occasionally.

COD elimination (91.4%) and Total-P removal (90.6%) were stable over the years, whereas NH₄-N and Total-N elimination have improved markedly from around 55% to 93.0% (NH₄-N) and 80.0% (Total-N). Performance in winter was excellent. The addition of an easily degradable carbon source to the plant filter in summer 1991 led to a markedly decreased phosphorus retention and a washout of iron during the experiment.

(C) 1997 IAWQ. Published by Elsevier Science Ltd.

TITULO:

BIOLOGICAL TREATMENT OF LEACHATES FROM HAZARDOUS-WASTE
LANDFILLS USING SBBR TECHNOLOGY

AUTOR:

Dollerer-J Wilderer-PA

FUENTE:

Water science and technology. 1996, Vol 34, Iss 7-8, pp 437-444

PALABRAS CLAVE:

Leachates; Hazardous Waste; Biological Treatment; Fixed Bed Technology; Sbb
Technology

RESUMEN:

Bench-scale experiments with two different types of fixed bed reactor have been conducted in order to investigate the potential of SBBr technology (Sequencing Batch Biofilm Reactor) for treatment of leachates from different hazardous waste landfills. Reactor A was equipped with a membrane oxygenation system for bubble free transfer of oxygen into the bulk liquid. In construct, reactor B was bubble aerated. The process was found to be remarkably stable. An average DOC removal rate of 68% was achieved with a 12-hour cycle. The emission of biodegradable volatile organic substances was observed to be significantly reduced by using bubble free aeration system. Copyright (C) 1996 IAWQ.

TITULO:

COMPOSITION OF THE BACTERIAL POPULATION IN SAND-FILTER COLUMNS RECEIVING ARTIFICIAL WASTE-WATER, EVALUATED BY SOFT INDEPENDENT MODELING OF CLASS ANALOGY (SIMCA)

AUTOR:

Pell-M Ljunggren-H

FUENTE:

Water research. 1996, Vol 30, Iss 10, pp 2479-2487

TITULO:

DEVELOPMENT OF A HIGH-EFFICIENCY HOUSEHOLD BIOFILM REACTOR

AUTOR:

Imura-M Sato-Y Inamori-Y Sudo-R

FUENTE:

Water science and technology. 1995, Vol 31, Iss 9, pp 163-171

PALABRAS CLAVE:

Anoxic-Oxic Recirculation Biofilm Process; Biological Denitrification; Household on-Site Waste-Water Treatment Plant; The Removal of Organic Matter and Nitrogen

RESUMEN:

Household wastewater treatment plants have been rapidly promoted in recent years as part of the measures for reducing the pollution loading discharge from private households in Japan. The author; have developed a high-efficiency household wastewater treatment plant employing a flow equalisation anoxic-oxic recirculation biofilm process removing organic matter as well as nitrogen which causes eutrophication. A full-scale experiment has been conducted for one year by leading actual grey water (cooking, bathing, washing effluents) from a private household into the experimental apparatus. The results obtained in this study are summarised as follows: effective flow equalisation and excellent effluent quality were achieved, the maximum effluent flow rate was 100 l/h (the peak coefficient 1.5) when the maximum influent flow rate was 415 l/h (the peak coefficient 6.2), the average values of BOD₅, COD_{Mn}, SS, T-N and T-P of the treated water were 7.8 mg/l, 11.1 mg/l, 5.9 mg/l, 6.4 mg/l and 1.2 mg/l, respectively BOD₅ and T-N of the treated water were less than 10 mg/l during the experimental period.

TITULO:

INFLUENCE OF OXYGEN ON BIOFILM GROWTH AND POTENTIAL SULFATE REDUCTION IN GRAVITY SEWER BIOFILM

AUTOR:

Norsker-NH Nielsen-PH Hvitvedjacobsen-T

FUENTE:

Water science and technology. 1995, Vol 31, Iss 7, pp 159-167

PALABRAS CLAVE:

Biofilm; Biofilm Reactor; Biofilm Growth; Gravity Sewer; Sulfate Reduction; Oxygen; Sulfide; Reoxidation; Cod Removal Waste-water; systems.

RESUMEN:

Under conditions of high organic surface load and high hydraulic shear the influence of bulk water dissolved oxygen (DO) concentration on biofilm oxygen consumption, biofilm growth and sulfate reduction in biofilms was investigated using both domestic wastewater and synthetic glucose - yeast extract medium. The biofilm thickness apparently did not approach a steady-state value; instead biofilm thickness increased linearly until the entire biofilm eventually sloughed. Potential activity of sulfate-reducing bacteria was highest when the biofilms were grown at low DO levels in bulk water. Potential sulfide production measured per biofilm volume remained fairly constant during the growth of the biofilms. Only at oxygen levels close to 0 ppm was sulfide production into bulk water under aerobic conditions evident; at higher oxygen levels, complete reoxidation of sulfide occurred within the biofilm. For biofilms growing at bulk oxygen conditions below 1 ppm. the sulfate reduction (and thus sulfide production) was of significance for the processes in the biofilm system in terms of oxygen consumption and COD removal

TITULO:

NITRATE REMOVAL FROM WATER-SUPPLIES USING BIODENITRIFICATION AND GAC-SAND FILTER SYSTEMS

AUTOR:

Dahab-MF Sirigina-S

FUENTE:

Water science and technology. 1994, Vol 30, Iss 9, pp 133-139

PALABRAS CLAVE:

Activated Carbon; Biotenitrificación; Nitrate; Nitrogen; Sand Filters; Water Treatment; methylophilic fluidized-bed

RESUMEN:

In this paper, a study on using fixed-film biological denitrification to remove nitrates from water supplies is reported. Fixed-film biological systems have not been used in water supply systems in the U.S. although they are proven to be efficient and economical for removing nitrates with the reason being the possibility of imparting residual organics, suspended solids and bacteria to the treated water. In this research, fixed-film upflow biotdenitrification columns were operated under carbon-starved conditions and the effluent was treated with a granular activated carbon (GAC) and sand filter system (combined in one unit) to remove residual organics and suspended matter. The system resulted in an average effluent turbidity of 0.8 NTU, and COD and total suspended solids (TSS) concentrations of 5.7 and 0.6 mg/L, respectively.

TITULO:

DEEP-BED FILTRATION OF SBR EFFLUENT FOR AGRICULTURAL REUSE - PILOT - PLANT SCREENING OF ADVANCED SECONDARY AND TERTIARY-TREATMENT FOR DOMESTIC WASTE-WATER

AUTOR:

Brenner-A Shandalov-S Oron-G Rebhun-M

FUENTE:

Water science and technology. 1994, Vol 30, Iss 9, pp 219-227

PALABRAS CLAVE:

Biological Treatment; Deep-Bed Filtration; Domestic Waste- Water; Reuse; Secondary Effluent; Suspended Solids; Tertiary Treatment; Turbidity

RESUMEN:

A wastewater reclamation program has been proposed as a means of supplying a major part of agricultural water demand in Israel. This program may solve the two fold problem of a national water shortage combined with continuous contamination of groundwater resources by inadequately treated wastewater. A pilot-scale investigation of an advanced treatment scheme incorporating a sequencing batch activated sludge system, followed by deep-bed granular filtration, has been started. It is aimed at the development of design and operation guidelines for such systems to be applied on a full scale. Preliminary results presented herein indicate that the sequencing batch reactor system is capable of producing high-quality, low- suspended-solids effluent to be further polished by granular filtration. A single medium quartz sand filter operated under a high variety of filtration velocities and inflow turbidities with no chemicals added, demonstrated good performance and supplied basic design information to be applied in further investigation.

TITULO:

PRODUCTION DEPENDENT SPECIFIC DATA OF PAPER-MILL WASTEWATERS - INFORMATION FOR TREATMENT AND REUSE

AUTOR:

Mobius-CH Cordestolles-M

FUENTE:

Water science and technology. 1994, Vol 30, Iss 3, pp 193-198

PALABRAS CLAVE:

Activated Sludge Process; Biofilter; Closed Cycle; Production Dependent Specific Data; Pulp and Paper Industry Waste-Water; Reuse; Trickling Filter; Waste-Water Treatment

RESUMEN:

Specific data on paper mill wastewaters, especially ratios of BOD, COD and TOC as well as specific loads of these parameters in mechanically treated production wastewater of paper mills, depend strongly on the type of paper produced in the mill. These data and the respective correlations are known from previous research

of the authors. The selection of suitable wastewater treatment processes, which are state of the art or best available technology (BAT) in the paper industry, depends on the type of wastewater characterized by these specific data.

Minor or major parts of the wastewater - depending on the type of paper produced - can be reused in the production prior to external treatment.

When the proportion of water reused prior to external treatment tends to be high, due to anoxic degradation in the internal circuits the type of dissolved organics may change. This can be easily detected by calculation of the BOD/COD ratio. For a certain system, the specific amount of water needed depends on the intensity of use for production, compared with other, not production dependent, uses. This may be detected by a calculation given here.

When no discharge to the sewer is suitable, the excess amount has to be treated biologically for discharge to surface water or for further reuse. Treatment processes discussed are: activated sludge treatment, anaerobic treatment followed by activated sludge treatment high capacity trickling filter followed by activated sludge treatment, aerobic submerged biofilters, low capacity trickling filters. Advanced treatment processes are combined with these processes, when BAT is required. For reuse of the biologically treated water, for all types of treatment except biofilters, a sand filter or similar equipment has to be added.

TITULO:

**OPERATING EXPERIENCES WITH SUBMERGED FILTERS FOR
NITRIFICATION AND DENITRIFICATION**

AUTOR:

Meaney-BJ Strickland-JET

FUENTE:

Water science and technology.1994,Vol 29,Iss 10-11,pp 119-125

PALABRAS CLAVE:

Waste-Water Treatment; Nitrification; Denitrification; Pre- Denitrification;
Submerged Aerated Filter; Nutrient Removal

RESUMEN:

A bioreactor has been developed utilising floating plastic granules with a density close to water. The reactor can be either aerated or non-aerated and can be used for nitrification, denitrification or solids removal. Particular applications are in tertiary treatment to achieve suspended solids levels below 10 mg/l and ammonia levels below 5 mg/l, and in a pre-denitrification mode to reduce nitrate levels in effluent from bacteria bed works in order to comply with the UWWTD.

TITULO:

COMBINED NITROGEN AND PHOSPHORUS REMOVAL IN A FULL-SCALE CONTINUOUS UP-FLOW SAND FILTER

AUTOR:

Hultman-B Jonsson-K Plaza-E

FUENTE:

Water science and technology. 1994, Vol 29, Iss 10-11, pp 127-134

PALABRAS CLAVE:

Biological Filter; Contact Filtration; Denitrification; Methanol; Nutrient Removal; Sand Filtration; Waste-Water

RESUMEN:

An attractive method for post-denitrification may be the use of sand filters. In this paper, a description and evaluation are given of full scale studies of the use of a continuous sand filter for the combined removal of suspended solids, phosphorus and nitrogen. Experiments were performed using methanol as a carbon source for denitrification and ferric chloride for an improved phosphorus removal. The studied continuous sand filter was a DynaSand filter marketed by Nordic Water Products AB. The filter has a surface area of 4.7 m² and a maximum possible bed height of 6 m. The bed consisted of sand with 1.2-2 mm grain size. The tested bed heights were 3.5-4.8 m, and the hydraulic load varied between 5.4 and 24.5 m/h. The effluent from the Loudden treatment plant in Stockholm was supplied to the filter.

Influent nitrate concentrations up to 20 mg N/l were tested and they decreased to 0.5-2 mg N/l. The methanol dosage was controlled by the measurement of nitrate continuously in the effluent by a dr Lange meter.

The denitrification rate followed a half order reaction down to low values of nitrate. Results showed that an effluent concentration of 0.15 mg P/l could easily be obtained. It was found that the influence of phosphate concentration is small on the denitrification rate if the phosphate concentration is above 0.1 mg P/l. The reject has a low sludge index which is favourable if the reject is returned to a sedimentation basin. The emission of nitrous gas (N₂O) is very low. The installation makes it possible to use space efficiently, since polishing, phosphorus removal and denitrification can take place in the same unit. Already the phosphorus removal process reduces the need for process volume by 80 % compared to a conventional process with flocculation and sedimentation basins.

TITULO:

BIOLOGICAL PHOSPHORUS UPTAKE IN SUBMERGED BIOFILTERS WITH NITROGEN REMOVAL

AUTOR:

Goncalves-RF Legrand-L Rogalla-F

FUENTE:

WATER SCIENCE AND TECHNOLOGY. 1994, Vol 29, Iss 10-11, pp 135-143

PALABRAS CLAVE:

Phosphorus; Biological Phosphorus Removal (Bpr); Nitrification; Denitrification; Biofilters; Biofilm

RESUMEN:

This paper introduces biological phosphorus removal (Bio-P) from wastewater on a submerged biofilter. Pilot scale research was carried out over a period of two years using a floating upflow aerated filter, originally designed for nitrification and denitrification of sewage. The factors which influence Bio-P on fixed film processes and the possible biofilter configurations which eliminate C, N and P are discussed. The procedures are applicable to all types of treatment plants using biofilters, both new and already in existence, making no distinction between the

different processes available today, co-current and counter-current filters. Biological phosphorus removal can be associated to the different treatment levels required: organic matter removal; secondary nitrification and denitrification. For the third option - complete nutrient removal, treatment is completed with a hydraulic retention time in the filter bed of under four hours. Because of the simultaneous filtration with effluent SS below 10 mg/l, low phosphorus residuals can be achieved by Bio-P alone. The modifications required for setting up this operating procedure on any treatment plant are presented.

TITULO:

PREDENITRIFICATION OR POSTDENITRIFICATION AT BIOLOGICAL FILTER WORKS - A CASE-STUDY

AUTOR:

Dee-A James-N Jones-I Strickland-J Upton-J Cooper-P

FUENTE:

WATER SCIENCE AND TECHNOLOGY. 1994, Vol 29, Iss 10-11, pp 145-155

PALABRAS CLAVE:

Sewage Treatment; Pre-Denitrification; Postdenitrification; High-Rate Biological Filter; Fluidized Bed; Floating Plastic-Medium Reactor; Tertiary Sand Filter; Capital and Operating Costs; Economic Comparisons

RESUMEN:

Pilot plant studies were conducted to evaluate the use of pre-denitrification for nitrogen removal at low-rate biological filter works. The plant was operated over a range of recycle ratios to determine the optimum operating conditions. It was possible to meet a total nitrogen limit of 15 mg TN/l with a 2:1 ratio of recycled filter effluent to settled sewage. Following the studies, an economic comparison was made to compare the costs of pre-denitrite plant with post-denitrification in tertiary sand filters. The cost-effectiveness of the pre-denitrite process depended on the price of the external carbon source used in post-denitrite plant. Biological fluidised beds were shown to be the most cost-effective type of pre-denitrite plant.

TITULO:

ADVANCES IN BIOFILM AEROBIC REACTORS ENSURING EFFECTIVE BIOFILM ACTIVITY CONTROL

AUTOR:

Lazarova-V Manem-J

FUENTE:

WATER SCIENCE AND TECHNOLOGY. 1994, Vol 29, Iss 10-11, pp 319-327

PALABRAS CLAVE:

Biofilm; Biofilm Reactor; Aerobic Water Treatment; Activity Control; Thickness Control; Reactor Performance; fluidized-bed reactor; waste-water treatment; nitrification; Degradation; filters; 3-phase; sand

RESUMEN:

Increasing volumes of wastewaters combined with limited space availability and progressively tightening standards and quality control, promote the development of new intensive biotechnologies for water treatment. Fixed biomass processes offer several advantages compared with conventional biological treatments, respectively, higher volumetric load, increased process stability and compactness of the reactors. The purpose of this paper is to present an overview of the principal characteristics of advanced aerobic biofilm processes (performance, reactor configurations, scale-up, energy consumption, field of application, etc.), completed by a synthesis of their advantages and disadvantages. Emphasis is placed on the factors and techniques ensuring effective control of biofilm thickness and better mass transfer.

For better understanding of biofilm processes, a new bioreactor classification is proposed as a function of the state of the biomass, the state of the medium and the hydrodynamic conditions. The control of the biofilm thickness is recognized as one of the most important parameters influencing process performance and efficiency. It is concluded that three-phase bioreactors ensure enhanced biological reaction rates through an effective biofilm control. However, further studies are needed to develop new economically attractive full scale mobile bed bioreactors.

TITULO:

CHEMICAL PROCESS WASTE-WATER TREATMENT BY ATTACHED CULTURES UNDER ANOXIC CONDITIONS

AUTOR:

Delanghe-B Roussy-J Guibal-E Lecloirec-P

FUENTE:

WATER SCIENCE AND TECHNOLOGY. 1994, Vol 29, Iss 10-11, pp 417-422

PALABRAS CLAVE:

Industrial Waste-Water; Waste-Water Treatment; Anoxic Treatment; Denitrification; Attached Culture; Granular Filter; Submerged Filter

RESUMEN:

The anoxic biodegradation of organic carbon in industrial wastewaters was studied on pilot plants with attached bacteria. The process involved submerged granular filters with expanded glass balls as packing material. The two wastewaters which were investigated came from a wine-produce industry and a chemical industry.

The nitrate requirements were studied on a semi-batch pilot plant. The nitrate consumption was found to be about 0.7-0.9 g N- NO₃.g(-1)TOC for the organic carbon removal from the wine-produce industry wastewater.

The influence of the volumetric load, C-v, on the Total Organic Carbon (TOC) removal was studied on a continuous-flow pilot plant. High removal yields of 90 % and more were obtained with volumetric loads up to 2 kg TOC.m(-3).d(-1) with the wine-produce industry wastewater. However 80 % TOC removal was obtained for a maximum volumetric load of 0.2 kg TOC.m(-3).d(-1) with the chemical industry wastewater. The difference between the two wastewaters might be due to the different degradation kinetics and/or biodegradability of their organic compounds. Nitrite concentrations were negligible throughout the study.

TITULO:

HIGH-RATE AERATED BIOFILTERS FOR PLANT UPGRADING

AUTOR:

Rogalla-F Lamouche-A Specht-W Kleiber-B

FUENTE:

WATER SCIENCE AND TECHNOLOGY. 1994, Vol 29, Iss 12, pp 207-216

PALABRAS CLAVE:

Aerated Biofilter; Biocarbone; N Removal; Biostyr; Anoxic Biofilter; waste-water; nitrification; removal; filtration; effluent; filter

RESUMEN:

Biocarbone aerated biofilters were developed more than ten years ago. Almost one hundred plants worldwide provide complete treatment in very short hydraulic retention time. This allows to construct compact plants in sensitive areas such as inner cities, sea or mountain resorts. The filters can be adapted to high effluent qualities expected by the European directive on wastewater treatment. Full oxidation of ammonia can be achieved in less than two hours. A plant for complete removal of nitrogen has been operated for more than a year in Denmark to meet Europe's most stringent effluent requirements by using an anoxic biofilter in series with the Biocarbone.

A new aerated biofilter, turning the Biocarbone principle upside down, is presented : a synthetic floating material allows enhanced performance, simplified backwash and a combination of anoxic and aerobic zones in one reactor. Effluent quality of less than 10 mg/l for all components (BOD, SS, TN) was demonstrated in a one-year long on-site test in Denmark and the first facility for 60 000 population equivalents is under startup. Full scale results of the upflow floating filter, Biostyr, are presented for nitrogen and phosphorus removal according to the European directive.

TITULO:

AN INVESTIGATION INTO THE PRETREATMENT OF DAIRY WASTE-WATER
PRIOR TO AEROBIC BIOLOGICAL TREATMENT

AUTOR:

Kasapgil-B Anderson-GK Ince-O

FUENTE:

WATER SCIENCE AND TECHNOLOGY. 1994, Vol 29, Iss 9, pp 205-212

PALABRAS CLAVE:

Pretreatment; Dairy Waste-Water; Anaerobic Upflow Filter; Aerobic High Rate Filter; Dissolved Air Flotation; 2-Stage Anaerobic Digestion; Pre-Acidification; Cost Estimation

RESUMEN:

Implementation of the EC Directive on Urban Wastewater Treatment has led to the introduction of more stringent discharge standards being imposed by the Regulating Agencies in the United Kingdom. It is for this reason that this investigation into the pre-treatment of a dairy wastewater prior to aerobic biological treatment was carried out. In order to upgrade the existing treatment plant at a local dairy a Dissolved Air Flotation (DAF) and an anaerobic digestion system as pre-treatment process were studied at pilot scale. Results obtained from this study showed that the existing aerobic biological treatment plant failed to achieve both the present consent conditions and those required in 1995. It was shown that an anaerobic filter would enable the plant to meet the discharge standards proposed by the National Rivers Authority but due to the configuration of the land available for new works it is recommended that the existing aerobic biological filter be replaced by an activated sludge system. It is anticipated that such a system would reduce the final effluent COD to less than 125 mg/l.

TITULO:

USE OF MINE FILLS FOR BIOLOGICAL RENOVATION OF DOMESTIC WASTE-WATER

AUTOR:

Peterson-CE Reneau-RB Hagedorn-C

FUENTE:

JOURNAL OF ENVIRONMENTAL QUALITY. 1994, Vol 23, Iss 3, pp 592-596

RESUMEN:

Development of Appalachian coal mining has been severely hampered by lack of domestic waste disposal technologies suited to fills. This research was conducted to evaluate the potential for biological renovation of domestic wastewater in fill produced from mining operations. Soil-fill (a mixture of Jefferson, fine-loamy, siliceous, mesic Typic Hapludult and Muskingom, fine-loamy, mixed, mesic Typic Dystrochrept soils) and spoil-fill (blasted rock material associated with the Taggart Marker and Low Splint Bench coal seams) were used in this study. Septic tank effluent (STE) and sand filter effluent (SFE) were applied to soil-fill columns at four loading rates (0, 5.4, 10.8, and 21.6 L m⁻² d⁻¹) and spoil-fill columns at one loading rate (21.6 L m⁻² d⁻¹) for a period of 20 wk. Fecal coliform numbers were reduced by 89 to 99% after passing SFE and STE through the fill columns. Coliform counts in effluent from the soil- and spoil-fill columns were lower where SFE was applied as compared with STE. There were no significant differences between coliform counts in effluent from soil-fill and spoil-fill columns, although there was a trend toward higher counts in effluent from the spoil-fill columns.

When soil-fill columns were considered, coliforms were reduced more effectively (at the highest loading rate) in columns receiving SFE when compared with columns receiving STE. This study indicates that selected fills may be used when consideration is given to wastewater treatment and loading rate.

TITULO:

OPERATION OF SUBMERGED FILTERS BY ANGLIAN-WATER-SERVICES-LTD

AUTOR:

Meaney-B

FUENTE:

JOURNAL OF THE INSTITUTION OF WATER AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT. 1994, Vol 8, Iss 3, pp 327-334

PALABRAS CLAVE:

Carbonaceous Oxidation; Nitrification; Submerged Aerated Filter; Suspended-Solids Removal; Tertiary Treatment

RESUMEN:

Since the introduction of submerged filters for sewage treatment in Europe, process improvements have been rapid. Downflow submerged filters using natural medium have been superseded by upflow filters using synthetic floating medium. Many advantages have been claimed for these systems and Anglian Water have investigated the operation of the Biobed and Filtabed submerged filters for carbonaceous oxidation, nitrification and suspended-solids removal. The process is based on the use of a bed of floating plastic beads (2-5 mm) through which the sewage flows in an upward direction. The reactor is aerated or non-aerated according to the required application. Results have shown the process to be capable of producing an effluent containing less than 2 mg/l amm.N and 5 mg/l SS. Backwash water requirements are less than 1%. The Biobead/Filtabead systems are designed to be competitive with regard to area, capital and operating costs.

TITULO:

CONSTRUCTION AND OPERATION OF A SUBMERGED AERATED FILTER
SEWAGE-TREATMENT WORKS

AUTOR:

Robinson-AB Brignal-WJ Smith-AJ

FUENTE:

JOURNAL OF THE INSTITUTION OF WATER AND ENVIRONMENTAL
MANAGEMENT. 1994, Vol 8, Iss 2, pp 215-227

PALABRAS CLAVE:

Biological Aerated Filter; Nitrification; Safe Process; Sewage Treatment

RESUMEN:

The capacity of the sewage-treatment works at Silchester in Hampshire has been enhanced and the effluent quality improved to a high standard by the installation of a new submerged biological aerated filter plant. Ten prefabricated steel submerged aerated filters reduce BOD and fully nitrify settled domestic sewage from a population equivalent of 20000.

Comprehensive operating data are presented to demonstrate the ability of single-stage submerged downflow aerated biological filters to produce a nitrified effluent. The final effluent quality remains consistently within consent limits at 4.8 mg/l BOD, 7.0 mg/l SS and 0.5 mg/l NH₃-N, all 95 percentiles. (Consent 7 mg/l BOD, 25 mg/l SS, and 5 mg/l NH₃-N, 95 percentiles.) Data are presented on total coliform and E. Coli concentrations through the filter plant, showing better than 3 log reductions in the effluent.

TITULO:

BIOLOGICAL TREATMENT OF HYPERSALINE WASTE-WATER BY A BIOFILM OF HALOPHILIC BACTERIA

AUTOR:

Woolard-CR Irvine-RL

FUENTE:

WATER ENVIRONMENT RESEARCH. 1994, Vol 66, Iss 3, pp 230-235

PALABRAS CLAVE:

Biological Treatment; Halophilic Organisms; Phenol; Saline Waste-Water; Sequencing Batch Reactor

RESUMEN:

Each year, billions of gallons of wastewaters containing high concentrations of salt (>3.5% w/v) and waste organics are generated by industry. Biological treatment of these hypersaline waste brines to remove organics could reduce the environmental impact and cost of waste disposal. Unfortunately, the salinity of many waste brines makes them difficult to treat with conventional waste treatment cultures.

This paper demonstrates that heterotrophic, halophilic organisms can be used to remove phenol from a synthetic waste brine containing 15% salt. The reactor system used in this study was a novel periodically operated biofilm reactor, the Sequencing Batch Biofilm Reactor (SBBR). The SBBR uses permeable silicone tubing to supply oxygen to the reactor. A biofilm of halophiles isolated from the Great Salt Lake, Utah, ecosystem readily developed on the tubing surface and degraded waste organics. The experimental results presented herein demonstrate

that the SBBR can produce a stable, high-quality effluent despite fluctuations in influent phenol concentration. The results of periodic track studies illustrate that biomass accumulation increases oxygen demand but does not significantly improve overall reactor performance

TITULO:

DEGRADATION MECHANISMS OF COLLOIDAL ORGANIC-MATTER IN BIOFILM REACTORS

AUTOR:

Larsen-TA Harremoes-P

FUENTE:

WATER RESEARCH. 1994, Vol 28, Iss 6, pp 1443-1452

PALABRAS CLAVE:

Biofilm; Reactor; Organic Matter; Colloids; Non-Diffusible Substrate; Degradation; Starch; Hydrolysis; Extracellular Enzymes

RESUMEN:

The degradation mechanisms of colloidal organic matter in biofilm reactors have been studied in an idealized laboratory reactor system with soluble starch as a model substrate. Batch tests and experiments with different reactor configurations have shown that for this specific substrate, bulk liquid hydrolysis is the mechanism for transforming non-diffusible organic matter into biofilm diffusible substrate. A simplified mathematical description has led to the identification of the degree of hydrolysis, D-H, as the parameter expressing the major difference between degradation of diffusible and non-diffusible organic matter in a biofilm reactor. D-H depends on the combined volumetric and surface hydraulic loading rate, $Q(2)/(AV)$. In full-scale wastewater treatment plants, the degradation mechanism presented in this paper can explain important differences between the performance of trickling filters and RBC reactors.

TITULO:

COMPUTER-AIDED SIMULATION OF SLOW SAND FILTER PERFORMANCE

AUTOR:

Ojha-CSP Graham-NJD

FUENTE:

WATER RESEARCH. 1994, Vol 28, Iss 5, pp 1025-1030

PALABRAS CLAVE:

Slow Sand Filtration; Water Treatment; Computer-Aided Simulation; Modeling; Filtration Coefficient; Filtrate Concentration; Headloss

RESUMEN:

Although the modelling of deep bed filtration has progressed considerably in recent years, almost no attention has been given to simulating the process of slow sand filtration. The exception, to date, is the work of Woodward and Ta (1988) who have attempted to simulate slow sand filter performance via a simple, empirical headless model; however, this model is not deterministic in nature and cannot predict filtrate quality nor the spatial headless development with the filter. This paper describes the development and calibration of a computer-based numerical model based on assumed filtration coefficient and headless relationships. The model structure includes a simple representation of biomass development but ignores the possible influence (currently uncertain) of a Schmutzdecke-surface skin. It is concluded that the spatial and temporal headless development within the media bed can

TITULO:

SUBMERGED FILTER SYSTEM CONSISTING OF MAGNETIC TUBULAR SUPPORT MEDIA COVERED WITH A BIOFILM FIXED BY MAGNETIC FORCE

AUTOR:

Sakai-Y Nitta-Y Takahashi-F

FUENTE:

WATER RESEARCH. 1994, Vol 28, Iss 5, pp 1175-1179

RESUMEN:

A submerged filter system consisting of magnetically anisotropic tubular support media was investigated for wastewater treatment with a biofilm system. Activated sludge supplemented with ferromagnetic powder for the preparation of the biofilm. The biofilm was formed within 15 min on the magnetic support media by magnetic attraction. The magnetic support media were able to treat wastewater containing 0.2 g/l(- 1) COD removing 72-94% COD with a retention time of 8 h. In the case of a 1 h retention time, the magnetic support media were found to have a capacity to treat wastewater continuously maintaining about 80% removal of total COD, discarding excess sludge from the system at 1-3 day intervals.

TITULO:

ADVANCED TREATMENT OF PAPER-MILL WASTEWATERS

AUTOR:

Mobius-CH Cordestolle-M

FUENTE:

WATER SCIENCE AND TECHNOLOGY. 1994, Vol 29, Iss 5-6, pp 273-282

PALABRAS CLAVE:

Activated Sludge Process; Advanced Treatment; Biofilter; Flocculation; Precipitation; Pulp and Paper Industry Waste- Water; Sand Filter; Tertiary Treatment; Trickling Filter

RESUMEN:

Improved external treatment of wastewater has become necessary for an increasing number of paper mills in view of stringent regulations governing the protection of receiving waters. Some of these advanced treatment processes have been shown to be useful after conventional primary treatment of wastewater with low concentrations of organics resulting from wood free paper production. For more contaminated wastewaters these state of the art techniques can also be used to supplement regular treatment like activated sludge processes. In these cases the advanced treatment processes are the final stage of a chain of mechanical, physico-chemical and biological treatment steps. The equipment and processes used for advanced treatment are sand filters, biofilters, low-capacity

trickling filters, flocculation and precipitation with inorganic salts in combination with filtration or flotation. These procedures are designed mainly for a reduction in concentrations of suspended solids, COD, and phosphorus.

Examples of the technical operation of these processes are presented. Compared to the results of standard treatment processes the results of the advanced treatment are a significant improvement. As requirements for effluent quality will be maximized in industrialized countries in the near future - if this has not already been done - these processes will be needed, even if the costs are high.

TITULO:

PILOT-PLANT EXPERIENCE WITH AN AEROBIC MOVING-BED BIOFILM REACTOR FOR TREATMENT OF NSSC WASTE-WATER

AUTOR:

Brochdue-A Andersen-R Kristoffersen-O

FUENTE:

WATER SCIENCE AND TECHNOLOGY. 1994, Vol 29, Iss 5-6, pp 283-294

PALABRAS CLAVE:

Nssc Waste-Water; Moving Bed Biofilm Process; Biological Treatment; Aerobic; High Load; Pilot Plant

RESUMEN:

Norske Skogindustrier A.S operates Sande Paper Mill A/S, a neutral sulphite semi-chemical (NSSC) corrugating mill. The mill currently discharges 1500 m³/day of wastewater containing 36 tonnes of COD and 15 tonnes of BOD₇.

A pilot plant test programme to demonstrate the application of a moving bed biofilm process was initiated in 1991. The objective of the pilot plant study was to obtain high COD removal efficiency at high organic loads, i.e. 25 kg COD/m³.day. If this was possible, two unused oil tanks (2 x 1000 m³) at the mill could provide sufficient reactor volume for biological treatment of the mill wastewater. The process tested was the KMT Moving Bed Process. This process was developed quite recently and had not been tested for the treatment of pulp and paper wastewater. The process is based on using floating biofilm carrier elements with

a large inside surface area. The pilot plant at Sande Paper Mill included two reactors in series and a settling tank. Each reactor had a volume of 0.523 m³ and both were filled with elements to about 70%.

The pilot plant was operated continuously for seven months. The organic load was increased in increments from about 10 kg COD/m³.d to about 65 kg COD/m³.d on the first reactor. Results show that it is possible to achieve high removal efficiency at high organic loads. At an organic load of about 25 kg COD/m³.d on the plant (i.e. 50 kg COD/m³.d on the first reactor), COD and BOD₇ reductions through the pilot plant were 70% and 96% respectively. Toxicity removal was about 98% (Microtox). Sludge production was 0.2 kg TS per kg COD removed or 0.35 kg TS/kg BOD removed. The main part of the soluble COD removal took place in the first reactor where oxygen consumption was about 3 times higher than in the second reactor. Organic load of about 60 kg COD/m³.d on the first reactor is the upper limit for efficient operation of the KMT process when treating the NSSC wastewater. No clogging was observed during the test period and the process seems to be both stable and robust.

TITULO:

PURIFICATION EFFICIENCY OF DANISH BIOLOGICAL SAND FILTER SYSTEMS

AUTOR:

Nielsen-J Lynggaardjensen-A Hasling-A

FUENTE:

WATER SCIENCE AND TECHNOLOGY.1993, Vol 28, Iss 10, pp 89-97

PALABRAS CLAVE:

Low Technology Waste-Water Treatment; Nutrient Removal; Purification Ability; Purification Efficiency; Sand Filter System

RESUMEN:

During an investigation in 1989 on small low technology treatment systems, particularly reed bed and biological sand filter systems in Denmark, it appeared that biological sand filter systems offer several advantages for the treatment of small wastewater sources. These observations gave rise to a new project

concerning systematic registration of all biological sand filter systems in Denmark. Besides this registration the aim of the project was to indicate the reliability of these systems concerning removal ability and to give some general guidelines on different circumstances which seem to have positive or negative effects on the removal of particularly ammonium and phosphorus. The paper summarizes the results and experiences that have been collected since the beginning of the use of biological sand filter systems in Denmark in the late 70s. Typical purification efficiencies of 90-95% for B15, 30-45% for nitrogen and 40-60% for phosphorus were observed. The ripening of sand filters to their maximum removal capacity is often short, within a few months, but longer periods of about 6 months may be required to achieve full nitrification. High nitrogen removal depends on the nitrification processes and also of anoxic zones in the filter with denitrification. The best way to achieve good nitrification is to use coarse-grained sand. The removal of phosphorus is indeed affected by the chemical properties of the sand in question. In ferrous enriched sand it is possible to achieve removal efficiencies of 70-90% of the phosphorus at concentrations of 10-15 mg P/l in the inlet.

TITULO:

DYNAMIC BEHAVIOR OF INTERMITTENT BURIED FILTERS

AUTOR:

Boller-M Schwager-A Eugster-J Mottier-V

FUENTE:

WATER SCIENCE AND TECHNOLOGY. 1993, Vol 28, Iss 10, pp 99-107

PALABRAS CLAVE:

On-Site Waste-Water Treatment; Small Treatment Plant; Buried Sand Filter; Dynamic Behavior; Unsaturated Transport; Biological Treatment; Nitrification

RESUMEN:

Buried filters were investigated experimentally in pilot and full scale as typical on-site treatment for small wastewater flows. The filters were operated by intermittent flushing which causes the water and the pollutant transport through the unsaturated media to be of a highly dynamic nature. Water transport and tracer studies at low and high hydraulic flush loads revealed frequent flushing at low loads to be superior to less frequent flushing at high loads for treatment of the

same daily amount of wastewater. These findings were confirmed in a full scale plant through monitoring of the dynamic washout of unoxidized matter in terms of COD and NH_4^+ after application of different hydraulic loads. The moisture retention capacity of the filter media correlated to the grain size distribution was found to be an important parameter. COD-removal and nitrification rates depend strongly on the oxygen supply to the media. In general, the oxygen diffusion into the media and the air exchange, induced by intermittent flushing, are sufficient. However, when applying relatively large hydraulic loads and coarse filter grains, especially in the range above 1 mm, buried filters tend to larger breakthroughs of unoxidized matter due to short retention times and instantaneous lack of oxygen. Experiments on average treatment performance were carried out and showed that under optimized conditions even wastewaters containing relatively high ammonia contents ($150 \text{ gNH}_4^+-\text{N}/\text{m}^3$) can be fully nitrified when limestone type filter material is used. Full scale operation revealed further that careful pretreatment (e.g. septic tank) for the removal of most of the suspended solids is necessary to guarantee safe operation.

TITULO:

MULTILAYER INTERMITTENT SAND FILTER

AUTOR:

Latvala-A

FUENTE:

WATER SCIENCE AND TECHNOLOGY. 1993, Vol 28, Iss 10, pp 125-132

PALABRAS CLAVE:

Filters (Sand); Land Treatment; Oxygen Demand (Biochemical); Phosphorus Removal; Sewage Treatment; Small Sewage Works

RESUMEN:

For developing intermittent sand filters more compact laboratory tests were arranged at Suomenoja Wastewater Research Station in Espoo, Finland. The purpose of these experiments was to develop this method to become multilayer. Multilayer means here two or three influent pipe systems in the same filter instead of one. These influents can be used simultaneously. This means that it is possible to increase the BOD-loading of the filter. However effluent quality depends on the

BOD-loading of the filter. If BOD-loading is increased, then BOD of the effluent also increases in respect to BOD-load. However higher BOD-loads are more acceptable to multilayer intermittent sand filters than to conventional ones. A suggestion for construction of multilayer intermittent sand filters is presented.

TITULO:

SMALL WASTE-WATER TREATMENT PLANTS BASED ON MOVING-BED BIOFILM REACTORS

AUTOR:

Odegaard-H Rusten-B Badin-H

FUENTE:

WATER SCIENCE AND TECHNOLOGY. 1993, Vol 28, Iss 10, pp 351-359

PALABRAS CLAVE:

Biofilms; Moving Bed Biofilm Reactor; Process Design; Plant Operation; Biological Chemical Treatment

RESUMEN:

In 1988 the State Pollution Control Authority in Norway made recommendations regarding process designs for small wastewater treatment plants. Amongst these were recommendations for biological/chemical plants where biofilm reactors were used in combination with pretreatment in large septic tanks and chemical post treatment. At the same time the so-called "moving bed biofilm reactor" (MBBR) was developed by a Norwegian company. In this paper, experiences from a small wastewater treatment plant, based on the MBBR and on the recommendations mentioned, will be presented.

TITULO:

RELATIONSHIP BETWEEN OXYGEN FLUX AND BIOFILM PERFORMANCE

AUTOR:

Huang-JC Liu-YC

FUENTE:

WATER SCIENCE AND TECHNOLOGY. 1993, Vol 28, Iss 7, pp 153-158

PALABRAS CLAVE:

Biofilm; Oxygen Concentration; Cod Removal Rate; Film Thickness; Sulfide Production; Dry Film Density; Sloughing Patterns

RESUMEN:

A fundamental study was carried out to assess the relationship between the availability of dissolved oxygen in a laboratory-scale biofilm reactor with some important system performance parameters such as biofilm growth rate, organic stabilization rate, sulfide production potential, aerobic layer-thickness, film density, and biofilm sloughing patterns. The feed solution was filtered sewage supplemented with glucose to maintain an initial COD of 300 mg/l. Four DO levels were examined: 1, 3, 5 and 8 mg/l. The test apparatus consisted of annular reactors, each having outer stationary and an inner rotating cylinders, so that the hydraulic shear throughout the reactor was uniform. The liquid space between the two concentric cylinders was 1.0 cm and the total growth surface was 1,200 cm², while the liquid volume inside the reactor was 755 cm³. The rotating speed was controlled at 14 cm/s (0.46 ft/s) and the operating temperature was controlled at 20-degrees-C.

The results of this study have indicated that an increase of DO tends to increase the cell yield, the maximum active (or aerobic) layer thickness, as well as the COD stabilization rate. However, DO shows no apparent effect on the film's volumetric dry density. Instead, it is a function of the film thickness; i.e., the thicker film has a higher density. For a mature biofilm, the ratio of the aerobic to the total film thickness increases linearly from 0.08 to 0.27 when the DO is increased from 1 to 8 mg/l. The maximum COD removal rate at 8 mg/l DO and an initial COD of 300 mg/l is about 1.5 g/h/m². Sulfide production starts to occur when the film thickness reaches 200 μ m and the DO is at 1.0 mg/l. As the DO is increased to 8.0 mg/l, sulfide production still occurs when the film thickness re-aches 700 μ m. Therefore, odour production seems to be an inherent problem associated with the biofilm treatment system. The pattern of the biofilm sloughings seem to follow a 40- to 45- day cycle regardless of the operating DO. In most cases, massive and patchy sloughings occur for two to three days; beyond that, a gradual but steady

redevelopment of the biofilm takes place. During times of sloughing, the overall treatment efficiency can be slightly affected, primarily due to the presence of high concentrations of SS in the treated effluent.

TITULO:

Anaerobic and Aerobic Submerged Bio-Filter System for Small-Scale on-Site Domestic Sewage-Treatment

AUTOR:

Watanabe-T Kuniyasu-K Ohmori-H

FUENTE:

WATER SCIENCE AND TECHNOLOGY. 1993, Vol 27, Iss 1, pp 51-57

TITULO:

A Study of Fiber Media Submerged Biological Aerated Filter-Activated Sludge Process (FM-as) for Sewage-Treatment

AUTOR:

Hanchang-S Thomas-VK

FUENTE:

WATER SCIENCE AND TECHNOLOGY. 1993, Vol 27, Iss 5-6, pp 413-423

TITULO:

EVALUATION OF TERTIARY FILTRATION AND DISINFECTION SYSTEMS FOR UPGRADING HIGH-PURITY OXYGEN-ACTIVATED SLUDGE PLANT EFFLUENT

AUTOR:

Kuo JF. Dodd KM. Chen CL. Horvath RW. Stahl JF.

FUENTE:

Water Environment Research. 69(1):34-43, 1997 Jan-Feb.

PALABRAS CLAVE:

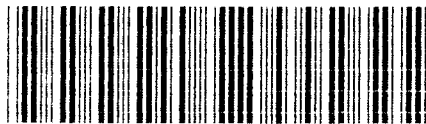
Chlorine. Disinfection. Filtration. Reuse. Tertiary treatment. Ultraviolet. Waste-water. Size.

RESUMEN:

The Joint Water Pollution Control Plant (JWPCP) of the Sanitation Districts of Los Angeles County provides advanced primary and partial secondary treatment for 15.3 m³/s (350 MGD) of wastewater. A 7-mo pilot plant study evaluated several tertiary treatment alternatives for in-plant water reuse. The influent to the tertiary treatment system was the high-purity oxygen-activated sludge plant effluent. Three filtration systems were evaluated: a deep-bed anthracite filter, a shallow-depth pulsed-bed sand filter, and a continuous backwash deep-bed sand filter. Chlorination and ultraviolet (UV) disinfection were also compared. All three filters were capable of consistently meeting the State of California's effluent turbidity limit. The differences in turbidity removal efficiencies were insignificant. Changes in hydraulic loading rate, up to 0.2 m³/m² . min (5 gpm/ft²), had insignificant effects on the quality of all filter effluents when filtering normal secondary effluent. The effect of chemical filter-aids on turbidity removal depended strongly on the characteristics of the filter influent and the filter design configuration. Breakthrough of alum might occur with an excessive dosage of alum. The estimated costs for filtering the secondary effluent by the three filters were similar. A high-UV dose of 300 mW-s/cm² would be required to reduce the total coliform concentrations less than or equal to 2.2 MPN/100 mL, mainly because of the low UV transmittance (40-63%). The 2.2 MPN/100 mL coliform standard could be met either by a chlorine residual of 5 mg/L with a contact time of 120 min or 10 mg/L for 60 min.



BIBLIOTECA UNIVERSITARIA DE GRANADA



000573107
ESC. SUP. ING. CANINOS